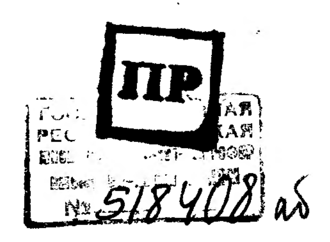
Рецензенты д-р техн. наук, профессор МХТИ *И. Я. Гузман*, преподаватель технологии керамики Всесоюзного заочного индустриального техникума строительных материалов *А. П. Семочкин*



**Мороз И. И.**
М 80 Технология фарфоро-фаянсовых изделий: Учебник для техникумов. — М.: Стройиздат, 1984. 334 с., ил.

Изложены основы технологии и приведены технологические схемы производства тонкокерамических изделий хозяйственно-бытового, строительного и технического назначения. Даны характеристики сырьевых материалов и оборудования, а также технико-экономические показатели производства. Особое внимание уделено технологии изделий из фарфора и фаянса хозяйственно-бытового назначения.

Для учащихся средних учебных заведений.

М $\frac{2802030000-208}{047(01)-84}$ 100—84

**ББК 35.41**

**6П7.3**



# ПРЕДИСЛОВИЕ

В производстве фарфоровых и фаянсовых изделий происходят глубокие качественные изменения: механизация и автоматизация технологических процессов, обновление и расширение ассортимента, совершенствование структуры производства, освоение новых видов изделий. Только за годы десятой пятилетки внедрено 160 поточных механизированных и 87 автоматизированных линий, 390 полуавтоматов, сооружено 22 туннельных и 27 конвейерных и роликовых печей. Значительно выросла производительность труда в отрасли. Все это позволило довести выпуск фарфоровых и фаянсовых изделий бытового назначения до 1109 млн. шт. Однако несмотря на значительный рост выпуска изделий, спрос населения в них удовлетворяется всего на 83%.

Основными направлениями экономического и социального развития СССР на 1981—1985 годы и на период до 1990 года, принятыми на XXVI съезде КПСС, решениями последующих Пленумов ЦК КПСС предусматривается дальнейший рост благосостояния советских людей на основе устойчивого, поступательного развития народного хозяйства, ускорения научно-технического прогресса и перевода экономики на интенсивный путь развития, более рационального использования производственного потенциала страны, всемерной экономии всех видов ресурсов и улучшения качества работы, в частности, более полное удовлетворение спроса на предметы культурно-бытового и хозяйственного назначения.

В связи с этим производство изделий бытового назначения из фарфора и фаянса к 1985 г. возрастет на 30,6% за счет повышения коэффициента использования производственных мощностей с 82 до 98%, реконструкции действующих и ввода новых заводов. Значительно изменится ассортимент изделий. Доля фарфора в общем объеме производства керамической посуды повысится с 72 до 76%, полуфарфора с 4,6 до 11%, фаянса — снизится с 18 до 12%.

Будет увеличен выпуск изделий из полуфарфоровых масс для предприятий общественного питания, а изделий из костяного фарфора — до 2,5 млн шт. в год. Более рациональным станет размещение мощностей по производству изделий из фарфора и фаянса. В общем объеме производства доля РСФСР понизится с 51 до 47%, УССР с 31,5 до 22%, повысится доля республик Средней Азии с 6,9 до 16,5%, Казахстана с 0,8 до 3,2%.

Перспективы развития производства фарфоровых и фаянсовых изделий предусматривают проведение значительных работ по расширению и улучшению сырьевой базы отрасли. Будет расширено использование предварительно обогащенных сырьевых материалов, а также организовано централизованное приготовление пластичной массы и шликеров.

Особое внимание будет уделено применению порошковых масс для полусухого гидростатического прессования плоских изделий из фарфора и полуфарфора, а также масс для «полужесткого» формования и др. На ряде заводов вместо фильтр-прессов будут построены распылительные сушилки, использованы тепловые агрегаты более совершенных конструкций, применены новые типы уплотненной садки изделий, осуществлены мероприятия по снижению расхода топлива и электроэнергии.

Все более совершенствуется процесс декорирования изделий с применением автоматов, термопластической деколи и красок, проникающих в глазурь («вжигаемых») и закрепляемых при более высоких температурах обжига.

Осуществление намеченных мероприятий позволит повысить в одиннадцатой пятилетке производительность труда в отрасли на 44% и фондовооруженность в 1,5 раза.

Дальнейшее развитие получит производство фаянсовых облицовочных плиток, санитарно-строительных изделий, изделий электротехнического назначения и др. В производстве фаянсовых облицовочных плиток создаются конвейерные линии мощностью 800 и 1000 тыс. м² в год, расширяется их ассортимент за счет освоения новых способов декорирования и более широкого использования цветных глазурей. Общий объем выпуска к 1985 г. возрастет до 33 млн. м² плиток в год.

В производстве санитарно-строительных изделий будет завершен переход на фарфоровые и полуфарфоровые массы взамен фаянсовых, расширится количество изделий, изготовляемых на механизированных стендах. Общий объем выпуска к 1985 г. составит около 10 млн. изделий. Основным направлением развития тонкокерамических производств на ближайшие годы явится повышение качества и расширение ассортимента изделий на основе использования новейших достижений науки и техники. Изучение технологии производства керамических изделий из фарфора и фаянса, способов ее дальнейшего усовершенствования и повышении эффективности составляет основное содержание данного учебника для студентов средних специальных учебных заведений по специальности «Технология керамики». В нем использованы данные современных достижений науки и техники, а также передовой опыт заводов по производству фарфоро-фаянсовых изделий.

Автор выражает признательность рецензентам д-ру техн. наук *И. Я. Гузману* и преподавателю Всесоюзного заочного индустриального техникума строительных материалов А. П. Семочкину. Их ценные замечания дали возможность улучшить содержание рукописи учебника. Все критические замечания и пожелания будут приняты автором с благодарностью.

# ВВЕДЕНИЕ

**Керамика** — материалы и изделия, получаемые обжигом глин или их смесей с минеральными добавками или без их. К керамическим изделиям относятся также изделия, изготовляемые из чистых оксидов или других минеральных веществ по технологии керамических производств. Керамика (греч. keramikos — гончарное искусство, от слова keramos — глина) — одно из самых древних ремесел. Начиная с каменного века изготовлялись простые глиняные сосуды как необходимая утварь для хранения пищи и воды. В эпоху палеолита существовали сделанные из глины скульптуры людей и животных. Когда человек научился добывать огонь, производство керамических изделий сделало большой шаг вперед. Изделия из глины, обожженные для придания им твердости, известны еще за 15 тыс. лет до н. э. Они широко применялись в Египте около 5 тыс. лет до н. э. В более позднее время (более 2 тыс. лет до н. э.) появился гончарный круг с ручным, а затем и ножным приводом.

Для раннего периода изготовления изделий из глины характерно их повсеместное производство, о чем свидетельствуют археологические находки, обнаруживающие керамические сосуды этого времени во всех частях земного шара. Из изделий бытовой керамики наиболее древние — майоликовые, каменно-керамические (тонкокаменные), фаянсовые, фарфоровые и др.

*Майолика* (итал. maiolika, от острова Мальорка или Майорка, через который ввозились в Италию произведения испано-мавританской культуры) получила широкое развитие в странах Древнего Востока: Египте, Вавилонии, Персии, в средние века — в Средней Азии, Азербайджане и т. д. В XIV—XV вв. производство майолики было распространено в Малаге, Валенсии и других городах Испании. В Киевской Руси искусство майолики известно с IX в. В XVIII в. центрами производства майолики являлись и являются в настоящее время Гжель (Подмосковье), Опошня, Васильков, Берегово (УССР) и др.

*Тонкокаменные* изделия по своим физико-техническим свойствам занимают промежуточное место между изделиями с пористым черепком (майолика, фаянс) и плотным (фарфор), приближаясь по своим свойствам к фарфору. Появление в Китае каменной массы предшествовало изобретению фарфора. В Европе тонкокаменные изделия известны с XV в. В России эти изделия ранее не были распространены, в настоящее время из тонкокаменных масс изготовляют химически стойкие изделия — химическую аппаратуру, оборудование, изделия хозяйственно-бытового назначения и др.

*Фаянс* (франц. faience от названия итальянского города Фаэнца) впервые стал производиться в странах Востока, позже в Древнем Египте. В Китае с IV—V вв. и особенно в VII—VIII вв. производились разнообразные виды фаянса (от мягкого до твердого — фарфороподобного). В XI—XIII вв. подобные виды фаянса получили распространение в Корее. В Японии в XVI в. славился фаянс завода Сацума.

Из европейских стран производство фаянса особенно было развито в Италии (гг. Фаэнца и Урбино). Во Франции фаянс впервые стал производиться около 1525—1565 гг. в Сен-Поршере. Весьма близки к фаянсовым по составу были изделия Б. Палисси во Франции (XVI в.), фабрик г. Дельфта в Голландии (1680—1740 гг.) и

Англии (XVII—XVIII вв.). Новый вид фаянса был создан в Англии Дж. Веджвудом, производство которого существует и в настоящее время. В конце XVIII — начале XIX в. фаянс распространился по всей Европе.

В Москве в 1727—1773 гг. вырабатывались полуфаянсовые изделия из гжельской глины (фабрика А. Ф. Гребенщикова), а первый крупный фаянсовый завод был построен в 1798 г. в Межгорье (близ Киева, завод не сохранился). В 1803 г. построены заводы в Конаково, в Будах (около Харькова), в 1875 г. основан Каменио-Бродский завод (УССР).

*Фарфор* появился в Китае в результате длительного совершенствования керамических масс от фарфоровидных до первых разновидностей фарфора (V—VII вв.). Одно из китайских названий фарфора — яо, персы называли его ферфор, европейцы — фарфор, порцелин. Китайские литературные источники относят возникновение фарфора ко II в. до н. э. Крупным центром изготовления фарфора был г. Цзиндэчжень, который и в настоящее время остается крупнейшим по производству фарфора в Китае. В Корее уже в X—XIV вв. выпускалась фарфоровая керамика, близкая к китайской, а позднее белый фарфор. Под влиянием Китая и Кореи в XVI — начале XVII вв. возникло производство фарфора в Японии.

Секрет получения фарфора в Китае тщательно хранился, и европейцам это искусство оставалось неизвестным в течение многих веков. Лишь в конце XVв. китайский фарфор завезли в Европу венецианцы, а в начале XVI в. — португальцы. Ценился он на вес золота. Только спустя 200 лет после знакомства с китайскими фарфоровыми изделиями в Европе был найден способ изготовления материала, напоминающего по своим свойствам китайский фарфор. В 1695 г. во Франции начали получать мягкий или фриттовый фарфор (не содержащий глины). Это были изделия из полусплавленного стекла. Производство их в Италии освоено еще раньше — в XVI в.

Твердый фарфор, не уступавший китайскому, был изобретен в г. Мейсене (Саксония) И. Ф. Беттером при содействии Э. В. Чирнгаузена в 1709 г. В 1710 г. возникла знаменитая Мейсенская мануфактура, не потерявшая своего значения и до настоящего времени. Второе фарфоровое производство в Европе было основано К. дю Пакбе в Вене (Австрия) в 1717—1718 гг. Во Франции, где сравнительно поздно были открыты месторождения каолина, твердый фарфор производится лишь с последней трети XVIII в. Знаменитая Севрская мануфактура (Франция), созданная в 1756 г., сохранила свое значение и в наше время.

В Англии с середины XVIII в. производился мягкий фарфор, подобный французскому, а затем его разновидность — костяной фарфор из каолина и пережженной кости. В Италии твердый и мягкий фарфор изготовляли в Венеции (1720 г.), Капо ди монте (1736 г.) и других городах. Мануфактуры, производившие мягкий и твердый фарфор, существовали также в Дании, Швеции, Голландии, Бельгии, Швейцарии, Чехословакии.

В последующие годы производство фарфора совершенствовалось, были созданы подглазурные краски, новое оборудование и тепловые агрегаты (сушилки, печи).

В русской литературе первое упоминание о фарфоре встречается в записках «Хожденне за три моря» Афанасия Никитина, посетившего Китай, Индию, Иран в 1466—1472 гг. Петр I в 1718 г. заинтересовался «порцелиновым» делом, но наладить изготовление фарфора ему не удалось.



Над «изысканием фарфоровых составов» трудились А. И. Гребенщиков, М. В. Ломоносов, Д. И. Виноградов. Около 1747 г. состав твердого фарфора был открыт Д. И. Виноградовым. Состав фарфоровой массы, разработанный им, был отличен от составов китайского и саксонского (мейсенского). В качестве исходных материалов он использовал гжельскую огнеупорную глину, кремень и алебастр (гипс). В 1752 г. им впервые в мировой литературе была опубликована монография «Обстоятельное описание чистого порцелина».

М. В. Ломоносов независимо от Д. И. Виноградова начиная с 1750 г. проводил большие работы по изысканию фарфоровых масс. Свыше 50 различных рецептов масс содержат его лабораторные записи.

В 1744 г. вблизи Петербурга был построен первый в России фарфоровый завод (третий в Европе). Ныне это фарфоровый завод им. М. В. Ломоносова.

В 1766 г. в России был построен второй фарфоровый завод в с. Вербилки б. Московской губернии (теперь Дмитровский завод). Впоследствии были построены заводы в Городнице (1799 г.), Барановке (1802 г.), Дулеве (1832 г.), Коростене (1910 г.) и других местах. В 1912 г. в России вырабатывалось 152 млн. шт. изделий (40 тыс. т) хозяйственного и бытового назначения. К 1915 г. насчитывалось уже 36 фарфоро-фаянсовых заводов.

В дореволюционной России на заводах преобладал ручной труд, технический уровень предприятий был низок. Производство фарфора и фаянса базировалось на импортном керамическом сырье. Только после Великой Октябрьской социалистической революции фарфоро-фаянсовая промышленность была по существу организована заново и стала приобретать индустриальный облик. Если в недалеком прошлом формование и литье, глазурование, шлифование и декорирование изделий, а также изготовление капселей выполнялись исключительно вручную, то в настоящее время на этих операциях используется более 1 тыс. полуавтоматов. Организованы поточно-механизированные, конвейерные и автоматизированные линии. Непрерывно растет количество туннельных печей для обжига изделий и уменьшается количество печей периодического действия. Внедряются щелевые печи для скоростного обжига изделий.

В общем выпуске изделий фарфор составляет 72, фаянс — 18, майолика и другие виды керамики — 10%. Выпуск изделий на душу населения в 1980 г. составил 6 шт. К 1985 г. он возрастет до 6,4 шт.

В ассортимент фарфоро-фаянсовой посуды (1980 г.) входят: хозяйственная посуда — 97%, в том числе тарелки всех размеров — 45%, чашки с блюдцами — 26, чайники — 2, кружки — 9, пиалы и другие изделия — 8%.

В фарфоро-фаянсовой промышленности есть, однако, немало неиспользуемых резервов производства. Главнейшие из них: сокращение технологических отходов производства; внедрение в производство масс и глазурей для скоростного обжига, а также унифицированного огнеупорного припаса; замена гипсовых форм на формы из других материалов; внедрение бескапсельного обжига; механизация и автоматизация производственных процессов на участках формования (внедрение автоматов), сушки (применение сушилок радиационных и с направленным потоком теплоносителя), обжига (использование щелевых печей), сортировки и декорирования (поточные линии, механизация транспортных операций и др.).

В одиннадцатой пятилетке более 90% общего прироста промышленной продукции должно быть обеспечено за счет роста производительности труда. Увеличение выпуска изделий будет идти прежде всего за счет интенсификации технологических процессов на основе более широкого применения достижений химии и прикладной физики, новейших средств контроля и регулирования различных технологических параметров. При этом новая технология производства изделий должна радикально отличаться от существующей в связи с тем, что она будет базироваться на высоких скоростях технологических процессов, оптимальных режимах сушки и обжига с использованием токов высокой частоты и инфракрасных лучей, на новых видах сырьевых материалов, в том числе искусственных (муллит, силлиманит, корунд и др.) и полимерных, на максимальном использовании производственных мощностей.

Дальнейшее развитие получит наука о керамике. Трудами П. А. Земятченского, П. П. Будникова, Э. К. Келлера, С. Г. Туманова, А. И. Августиника, Г. В. Куколева, Б. С. Лысина и других ученых созданы теоретические основы и технология производства новых масс, глазурей, керамических красок и новых видов изделий. Значительный вклад в развитие науки о керамике и совершенствование ее технологии вносят Всесоюзный научно-исследовательский институт фарфора (ВНИИФ) и Украинский научно-исследовательский институт стекольной и фарфоро-фаянсовой промышленности (УНИИСП).

Наука о керамике получила особенно быстрое развитие в связи с развитием физики и химии. Физика керамики рассматривает структуру керамических кристаллов и стекол, их свойства, а также влияние состава и структуры на свойства керамических материалов. Химия керамики рассматривает реакции, связанные с развитием кристаллической и стекловидной фаз. Объединение принципов физики и химии керамики позволяет не только понять процессы образования новых составов и структур, но и уяснить влияние состава и структуры на свойства и эксплуатационные качества керамических изделий, полученных по разным технологическим схемам производства.

# ЧАСТЬ I. ОБЩИЕ ПРИНЦИПЫ ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА ТОНКОКЕРАМИЧЕСКИХ ИЗДЕЛИЙ

## ГЛАВА 1. КЛАССИФИКАЦИЯ ИЗДЕЛИЙ И ИХ ХАРАКТЕРИСТИКА

**Классификация** керамических изделий возможна по многим признакам: структуре, состоянию поверхности, способу производства, назначению и др.

Изделия, имеющие грубозернистое строение, относятся к *грубой строительной керамике* (кирпич, керамические камни, черепица и др.). Изделия, имеющие тонкозернистое строение, составляют класс *тонкой керамики* (санитарно-строительные изделия, облицовочные плитки, керамические изделия бытового назначения, в том числе посуда).

За последние десятилетия классификационные признаки во многом изменились в связи с созданием и развитием новых видов изделий, не содержащих глинистых материалов или содержащих их в минимальных количествах: высокоглиноземистых, хромомагнезитовых, титановых, циркониевых и др. Такие изделия связывает с типично керамическими изделиями общность технологических приемов производства — помол, формование, сушка, обжиг.

В настоящее время керамические изделия классифицируют главным образом по производственно-отраслевому признаку и назначению.

Изделия тонкой керамики по степени спекаемости материала и его физико-техническим свойствам подразделяются на две группы. В одну входят изделия с *плотным* спекшимся черепком, они имеют раковистый блестящий излом, не пропускают жидкости и газы, белые или равномерно окрашенные, издают при ударе чистый долго не затухающий звук, водопоглощение их не более 5%. Эти изделия могут быть глазурованными и неглазурованными; в другую — изделия *пористые*, имеющие в изломе мелкозернистое строение и землистый вид, пропускающие жидкости и газы, водопоглощение их более 5%. Они при ударе издают глухой, быстро затухающий звук, непрозрачны в тонком слое, белые или равномерно окрашенные.

Для всех тонкокерамических изделий общими являются используемое сырье и способы производства, оборудование и тепловые агрегаты, способы декорирования и т. д.

Классификация изделий бытовой керамики приведена на рис. 1.

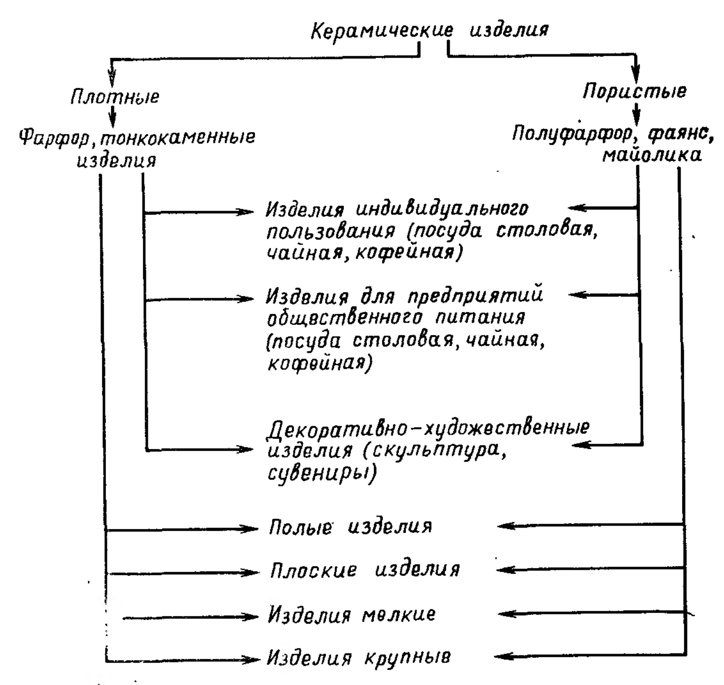



**Рис. 1. Классификация бытовой керамики**

**Плотные изделия.** *Фарфор* в изломе имеет плотный, спекшийся, раковистый вид. Он белый по цвету, тонкостенный и просвечивающий в слое толщиной до 2,5 мм. Пористость фарфора по водопоглощению до 0,5%, общий объем пор 2,5—6%. Изделия из фарфора обладают высокой (до 550 МПа и выше) прочностью при сжатии, термостойкость их более 8 теплосмен, они достаточно устойчивы к действию кислот и щелочей, бывают обычно глазурованными и имеют декор (изделия культурно-бытового назначения). Фарфоровые изделия обладают высокими эстетическими свойствами. Их изготовляют из тонких смесей каолина, кварца, полевого шпата и других алюмосиликатов. В зависимости от состава массы и температуры обжига различают *твердый* фарфор, обжигаемый при температуре 1350—1410° С и выше, и *мягкий* фарфор с температурой обжига ниже 1350° С. По сравнению с мягким фарфором твердый содержит больше каолина и меньше полевого шпата. Мягкий фарфор подразделяется на костяной, полевошпатовый (зегеровский), фриттовый, бисквитный и др.



Массы мягкого фарфора содержат повышенное количество плавней — карбонатов, сульфатов, фосфоритов, костяной золы, поташа, соды и др., что способствует понижению температуры обжига до 1250—1300° С. Отличительная особенность изделий мягкого фарфора — повышенная белизна и просвечиваемость, пониженная (примерно вдвое) по сравнению с твердым фарфором механическая прочность, а также низкая термическая стойкость.

*Костяной* фарфор изготовляют из масс, содержащих 20—60% костяной золы крупного рогатого скота. Он отличается высоким содержанием стекловидной фазы, обеспечивающей изделиям повышенную просвечиваемость. Из костяного фарфора изготовляют чайную и кофейную посуду.

*Полевошпатовый (зегеровский)* фарфор отличается повышенным содержанием (30—40%) полевого шпата. В основном из него изготавливают скульптуры.

*Фриттовый* фарфор не содержит каолина, кварца и полевого шпата в сыром виде. Его изготовляют из примерно 80% предварительно сплавленной смеси, т. н. фритты, состоящей из кварца, полевого шпата и мела, 15—20% мела и 5—10% мергеля. По внешнему виду и свойствам изделия из фриттового фарфора больше напоминают заглушенное стекло, чем фарфор. Они обладают высокой белизной. Основной ассортимент изделий из него — скульптура.

*Тонкокаменные* изделия имеют плотный спекшийся непросвечивающий черепок, покрытый прозрачной, цветной или глухой глазурью. Пористость по водопоглощению у них должна быть не более 5%. Наряду с высокой механической прочностью и устойчивостью к химическим воздействиям тонкокаменные изделия обладают значительной термостойкостью (8 теплосмен) и жароупорностью, вследствие чего они широко используются в качестве кухонной посуды, тары для консервирования и хранения пищевых продуктов.

*Жароупорные* изделия имеют блестящий излом, глад-

кую поверхность, при ударе издают чистый звук, пористость их по водопоглощению не более 3%. Термостойкость жароупорных изделий более 15 теплосмен.

Для изготовления тонкокаменных и жароупорных (иначе термостойких) изделий используют легкоплавкие, тугоплавкие и огнеупорные глины с добавлением каолина, кварцевого песка, силиманита, полевого шпата, перлита, нефелина, талька и др.

**Пористые изделия** могут быть белыми или окрашенными, покрытыми бесцветными прозрачными или цветными, глухими глазурями, декорированы подглазурными и надглазурными красками, ангобами, растворами солей цветных металлов и др. Водопоглощение изделий более 5%. Черепок пористых изделий не просвечивает даже в тонком слое.

Изделия из *полуфарфора* характеризуются белым или окрашенным плотным полуспекшимся черепком, покрытым прозрачной или цветной глазурью, который по составу и температуре обжига занимает промежуточное положение между фарфором и твердым фаянсом. Пористость по водопоглощению полуфарфоровых изделий составляет 5—8%.

*Фаянсовые* изделия отличаются белым или светлоокрашенным черепком, покрытым глухой или цветной легкоплавкой глазурью, которая делает его непроницаемым для жидкостей и газов. Декорируют фаянсовые изделия, как и фарфоровые, надглазурными и подглазурными красками, растворами солей цветных металлов, ангобами, препаратом золота и др. Посуда может изготовляться гладкой или рельефной, с ровным или фигурным краем. По своим физико-техническим и гигиеническим свойствам фаянс значительно уступает полуфарфору и в особенности фарфору. Фаянсовые изделия выдерживают не менее 6 теплосмен, водопоглощение их 9—12%.

Для изготовления фаянсовых изделий используют бело- и светложгущиеся пластичные огнеупорные глины, каолин и кварцевые материалы с добавлением полевого шпата или карбонатных пород — мела, доломита и др.

Фаянс делят в зависимости от состава на твердый или полевошпатовый и мягкий — глиняный и известковый.

*Майоликовые* изделия характеризуются окрашенным пористым черепком, покрытым прозрачной цветной или глухой глазурью. Декорируют их преимущественно



цветными глазурями и ангобами. Сырьем служат преимущественно небеложгущиеся легкоплавкие и тугоплавкие глины высокой и средней пластичности, а также плавни — перлит, нефелин и др. Пористость майолики по водопоглощению не должна превышать 15%, термостойкость не менее 4 теплосмен.

Ассортимент изделий майоликовой хозяйственной посуды широк — миски, кувшины, молочники, вазы для фруктов, наборы для молока и т. д., а также предметы декоративно-художественного назначения (вазы для цветов, настенные тарелки и др.). Хозяйственную посуду покрывают изнутри бессвинцовыми глазурями, а изделия декоративного назначения — свинцовыми, малосвинцовыми и бессвинцовыми глазурями.

## ГЛАВА 2. СЫРЬЕВЫЕ МАТЕРИАЛЫ

Сырьевые материалы, используемые в производстве керамических изделий, разделяют на основные и вспомогательные. Основные сырьевые материалы, в свою очередь, делят на пластичные (глинистые) и непластичные. Глинистыми материалами являются каолины, огнеупорные, тугоплавкие и легкоплавкие глины, в том числе и пластифицирующие добавки — бентониты. Непластичные материалы в зависимости от характера действия разделяют на отощающие — шамот, получаемый путем обжига глин и каолинов, бой обожженных изделий, кварцевый песок и другие; плавни — полевой шпат или его заменители — пегматит, нефелиновый сиенит, тальк, доломит, мел и др.

### 1. Глинистые материалы

**Образование.** Глинистые материалы представляют собой горные породы обычно полиминерального состава, землистого вида, образующие с водой пластичное тесто, способное сохранять придаваемую ему форму и принимать после обжига твердость камня.

Глинистые материалы являются продуктами разрушения (выветривания) изверженных горных пород под воздействием сложного комплекса процессов: механических (воды, ветра, ледников), физических (нагревание, охлаждение), химических (воздействие влаги, кислорода и углекислоты воздуха), бактериологических (гниение органических примесей),

Образовавшиеся в результате физико-химических и бактериологических процессов разрушения полевошпатовых пород (гранитов, гнейсов, порфиров, пегматитов и др.), их переотложения и преобразования глинистые материалы представляют собой тонкообломочные осадочные породы, состоящие из водных алюмосиликатов состава $m\,Al_2O_3 \cdot n\,SiO_2 \cdot p\,H_2O$ с остатками первозданных материнских пород. В результате химических превращений щелочных минералов и гидролиза силикатов с присоединением к остатку конституционной воды образовался минерал каолинит $Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O$. Значительную роль в процессах каолинизации играют гумусовые кислоты, циркулирующие в толще материнской породы. Процесс химического разложения (каолинизации) полевошпатовых пород с образованием каолинита схематически может быть выражен уравнением

$$\underbrace{R_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 6SiO_2}_{\text{полевой штат}} + CO_2 + 2H_2O = \underbrace{Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O}_{\text{каолинит}} + R_2CO_3 + 4SiO_2$$

По строению кремнекислородного каркаса глинистые минералы делят на три основные группы: монтмориллонитовые, монтмориллонит, условно $Al_2O_3 \cdot 4SiO_2 \cdot H_2O \times nH_2O$), каолинитовые (каолинит, дикит и накрит с одинаковым составом $Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O$), гидрослюдистые (иллит $K_2O \cdot MgO \cdot 4Al_2O_3 \cdot 4SiO_2 \cdot 2H_2O$, глауконит, мусковит и др.).

Все глинистые материалы подразделяют на четыре основных класса: каолины, глины, сухари, а также сланцевые глины и глинистые сланцы.

*Каолин* — глинистая порода, состоящая преимущественно из каолинита, а также минералов каолинитовой группы — накрита, дикита и галлуазита и незначительных количеств примесей других минералов. Каолины имеют ясно выраженное кристаллическое строение.

*Глины* отличаются от каолинов большим разнообразием минералогического и химического состава и свойств.

По условиям образования (генетическому признаку) глинистые материалы подразделяют на первичные (остаточные) и вторичные (переотложные). Первичные глинистые материалы обычно загрязнены песком и остатками неразрушившейся материнской породы. Вторичные глины и каолины загрязнены тонкодисперсными примесями (кварц, карбонаты, оксиды железа, слюда, органические вещества и др.).



**Состав.** Свойства глинистых материалов определяются их минералогическим, гранулометрическим и химическим составом. Состав глинистых материалов влияет на технологические свойства сырья — пластичность, связность и связующую способность, воздушную и огневую усадку, огнеупорность, температуру и интервал спекания и другие — и в значительной мере предопределяет области возможного использования сырья (тонкая или грубая керамика и др.).

*Минералогический* состав характеризуется наличием в глинистом сырье каолинита, монтмориллонита, гидрослюды и реже других минералов. В зависимости от минералогического состава глин их делят на мономинеральные и полиминеральные.

В производстве тонкой керамики широко используют каолины, а также каолинитовые огнеупорные и тугоплавкие глины, содержащие преимущественно минералы каолинитовой группы, описываемые общей химической формулой $Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O$.

В качестве примесей в глинах присутствуют кварц, полевой шпат, галлуазит, бейделит и др. Эти примеси не являются вредными и учитываются при расчете масс. Минералогический состав, например, полиминеральной огнеупорной часов-ярской глины следующий, %: каолинита до 60, монотермита 11—35, кварца до 20. Низкоценные сорта полиминеральных глин обычно используют в производстве строительной керамики. Вредные примеси в глинистом сырье — карбонаты кальция и магния, рутил, гематит, магматит, пирит, гипс и другие железо- и серосодержащие минералы.

Минералогический состав глин определяет их формовочную способность, поведение при обжиге и др.

*Химический* состав глинистых материалов колеблется в широких пределах. Глины всегда содержат $SiO_2$, $Al_2O_3$ и $H_2O$, а также незначительные количества примесей в виде соединений Fe, Ca, Mg, Ti, K, Na. Обычно в состав глин и каолинов входят органические примеси. Влияние каждой составляющей химического состава глинистых материалов определяется не только количеством, но и главным образом видом минерала и физическим состоянием этой составляющей.

Повышенное (до 80% и более) содержание $SiO_2$ указывает на запесоченность сырья. С повышением содержания $SiO_2$, не связанного с $Al_2O_3$ в глинистых минера-

лах, снижается связующая способность глин, прочность в высушенном и обожженном состоянии, повышается пористость обожженных образцов.

По содержанию $Al_2O_3+TiO_2$ в прокаленном состоянии глинистое сырье разделяют на группы: высокоосновные (Во) — $Al_2O_3+TiO_2$ более 40%; основные (Ос) — 30—40; полукислые (Пк) — 15—30; кислые (К) — менее 15%. Высокое процентное содержание $Al_2O_3$ обусловливает огнеупорность глин, а низкое — при повышенном содержании $K_2O$ и $Na_2O$ — указывает на их легкоплавкость. Чем больше глины содержат $Al_2O_3$ и щелочей, тем раньше они спекаются, сохраняя огнеупорность (большой интервал плавкости).

При наличии более 0,5% щелочей, входящих в состав глин в виде сернокислых или углекислых солей, ухудшается формовочная способность глин, повышается их зыбкость, снижается огнеупорность, возможно образование на поверхности изделий из них белого налета (выцветов).

Соединения железа понижают огнеупорность глин, придают им окраску от светло-кремовой до вишнево-красной, что особенно нежелательно в производстве тонкокерамических изделий белого цвета. Эти примеси могут быть причиной образования на поверхности изделий темных точек (мушек), выплавок или вздутий. В прокаленном состоянии глинистое сырье бывает с весьма низким содержанием красящих оксидов $Fe_2O_3$ и $TiO_2$ ($F_2O_3$ отсутствует, $TiO_2$ до 1%), с низким ($Fe_2O_3$ менее 1,5%, $TiO_2$ менее 1%), со средним ($Fe_2O_3$ 1,5—3%, $TiO_2$ 1—2%) и с высоким ($Fe_2O_3$ более 3%, $TiO_2$ более 2%). Глинистое сырье со средним и высоким содержанием красящих оксидов оценивают также по равномерности окраски обожженного черепка.

Соли щелочноземельных металлов (1—2,5%) в виде карбонатов или сульфатов (гипс) также являются вредной примесью, так как понижают огнеупорность глин, уменьшают интервал спекания и увеличивают усадку, повышают пористость обожженных изделий, понижают прочность и морозостойкость изделий.

Данные химического анализа позволяют определить возможность использования глинистого сырья в различных керамических производствах (рис. 2).

*Гранулометрический* состав глин и каолинов оказывает большое влияние на их технологические свойства —



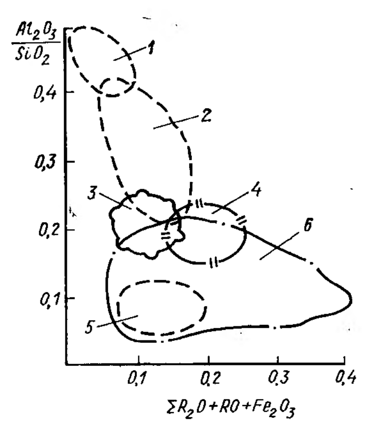
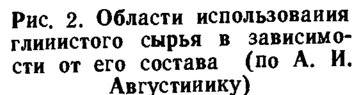



**Рис. 2. Области использования глинистого сырья в зависимости от его состава (по А. И. Августинику)**



1 — для тонкой керамики, огнеупоров; 2 — для канализационных труб, плиток для полов, тонкокаменных изделий; 3 — для майоликовых изделий; 4 — для черепицы; 5 — для дорожного клинкера; 6 — для строительного кирпича

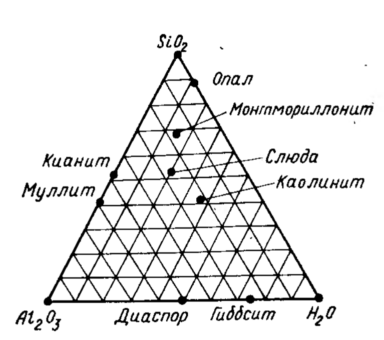


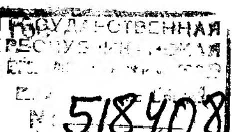

**Рис. 3. Расположение глинистых материалов в системе $Al_2O_3 — SiO_2 — H_2O$**

пластичность, прочность в высушенном состоянии, температуру спекания и др. Наиболее активная часть глин и каолинов — тонкодисперсная, имеющая размер менее 1 мкм. Глинистые частицы, находясь в коллоидном или чаще в предколлоидном состоянии, представляют собой высокодисперсные (1—0,01 мкм) кристаллы, имеют хорошо выраженную трех- или двухмерную повторяемость основных структурных элементов в пространстве.

В тройной системе $Al_2O_3—SiO_2—H_2O$ глинистые минералы располагаются в местах, указанных на рис. 3. Содержание таких фракций составляет в глинах 65—93, каолинах 27—46% и более. Эта фракция определяет поведение глинистых материалов при увлажнении водой и обжиге. Суммарный гранулометрический состав характеризуется удельной поверхностью зерен (в $м^2/г$) и составляет от 14 (каолин новоселицкий) до 73 $м^2/г$ (бентонит черкасский) и более. Водозатворение, пластичность, воздушная усадка, прочность в высушенном состоянии и реакционная способность при обжиге тем выше, чем больше содержание тонкодисперсной фракции в глинистых материалах.

Почти во всех каолинах с уменьшением величины зерна возрастает содержание $Al_2O_3$, а содержание





$SiO_2$, $K_2O$ и $Na_2O$ уменьшается, т. е. уменьшается количество силикатных загрязнений (песка, полевого шпата, слюды).

Различие в гранулометрическом составе глин и каолинов проявляется также и в том, что плотность каолинов выше, а воздушная усадка в 2—4 раза ниже, чем у глин, прочность после сушки при 110° С значительно уступает прочности глин после сушки.

Повышенная гигроскопичность глинистого сырья указывает на его тонкодисперсность и повышенную пластичность.

Тонкодисперсные минералы — каолинит, бейделит, галлуазит, монтмориллонит и другие образуют глинистое вещество (глинистую субстанцию), определяющее состав и основные технологические свойства глинистых материалов.

По содержанию тонкодисперсных фракций глинистое сырье делят на высокодисперсное, дисперсное и грубодисперсное, которые характеризуются процентным содержанием в сырье частиц размерами менее 10 и менее 1 мкм. Высокодисперсные глины содержат более 60% частиц менее 1 мкм, дисперсные соответственно — 40—95 и 20—60 и грубодисперсные соответственно — менее 40% и менее 20%. При наличии обоих показателей (содержание частиц размерами 1 и менее 10 мкм) классификацию производят по содержанию частиц размером менее 1 мкм.

Содержание крупнозернистых включений характеризуется их количеством, размером и видом. По количеству различают глинистое сырье с низким содержанием включений размером более 0,5 мм (не более 1%), со средним (от 1 до 5%) и высоким (более 5%).

По виду включений глинистое сырье делят на пять групп: с кварцевыми включениями (кварцевый песок, кварциты, сланцы, обломочные силикатные горные породы), с железистыми (сидерит, пирит, лимонит, гидрослюды железа и др.), с карбонатными (кальцит, доломит и др.), с гипсовыми (гипс), с органическими (растительные остатки, торф, уголь и др.).

Кроме глин и каолинов в керамическом производстве используют бентонитовые глины. *Бентонитовые глины* образовались в результате расстекловывания и химических превращений стекловидной фазы вулканических туфов, лавы, пепла. Основной минерал бентонитовых



глин — монтмориллонит, сопутствующие — кварц, карбонаты, полевой шпат, слюда, лимонит, каолинит и др.

Бентонитовые глины высокодисперсные, пластичные, поглощают много воды при затворении, склонны к значительному набуханию. Они содержат от 1,75 до 2,25% красящих оксидов $Fe_2O_3 + TiO_2$.

Бентониты используют в производстве фарфоровых изделий в качестве пластифицирующих добавок, улучшающих формовочные свойства масс и повышающих прочность и водоустойчивость полуфабриката после сушки.

**Свойства** глинистых материалов наиболее полно определяются при увлажнении их водой. Глинистые материалы по-разному поглощают влагу из воздуха, взаимодействуют при непосредственном увлажнении, неодинаково отдают влагу при сушке, так как вода по-разному связана с глинистыми частицами.

Формы связи влаги с материалом в системе глина — вода по классификации П. А. Ребиндера можно разделить на три вида: химическую, физико-химическую и физико-механическую. *Химическая* вода входит в кристаллическую решетку глинистых материалов и удаляется при 550—600° С. *Физико-химическая* влага может быть в виде адсорбционной (вода гидратных оболочек), осмотической или структурной. *Физико-механическая* влага, в свою очередь, подразделяется на влагу макро- (>1 мкм) и микрокапилляров (<1 мкм) и влагу смачивания. Влагу физико-химическую и физико-механическую также можно разграничить на свободно- и прочносвязанную. Прочносвязанная вода входит в гидратную оболочку глинистых частиц.

Общее количество прочносвязанной воды у глин и каолинов различно и составляет: у монтмориллонита 10—25%, часов-ярской глины 9—10, каолинов 2—4%. В фарфоровой массе с влажностью 22—23% по массе объем воды 42—45, а объем прочносвязанной воды 0,8—1% общей влажности материала. Свободносвязанная вода размещается между глинистыми частицами в капиллярах и подчиняется законам гидростатики.

Каждому виду глины и каолина присуще свое определенное водосодержание, при котором в наилучшем виде проявляются их керамические свойства: у каолинов 27—31%, часов-ярской глины 30—32%, трошковской глины 30—36%. Количество воды рабочего водозатворе-

ния зависит от минералогического состава, дисперсности и природы обменных катионов и анионов.

Влага в керамических массах выполняет роль смазки при перемещении частиц. При влажности 32—33% керамическая масса разжижается (в присутствии электролитов) и становится пригодной для изготовления изделий методом отливки.

*Пластичность* — способность тестообразной керамической массы принимать под влиянием внешних усилий любую форму без разрывов и трещин и сохранять ее после внешнего воздействия. Пластичность можно рассматривать как промежуточное состояние между хрупким и вязкотекучим состоянием материала. Мера (число) пластичности определяется как разность между влажностью предела раскатывания (масса крошится) и нижней границей текучести (масса растекается). По пластичности глинистое сырье разделяют на пять групп: высокопластичное, среднепластичное, умереннопластичное, малопластичное и непластичное с числом пластичности соответственно более 25, 25—15, 15—7, менее 7; непластичные не дают пластичного теста. У непластичных материалов пределы раскатывания и растекаемости совпадают. Такое определение пластичности условно и не характеризует истинное значение этого важнейшего свойства глинистых материалов и масс на их основе, которое до настоящего времени еще не полностью изучено.

Более точно пластичность характеризуется данными, получаемыми при прямом измерении деформации при сжатии, прочности при растяжении и удлинении, срезе (сдвиге) и скручивании, по величине линейной усадки при сушке, прочности на изгиб высушенных образцов. На пластичность влияют природа минералов и количественное соотношение их в массе, величина частиц и их форма, особенности поверхности частиц, ионообменная способность, количество воды и растворенные в ней вещества, величина поверхности, взаимодействующей с водой.

Пластичность можно понизить добавлением непластичных материалов: песка, боя изделий (шамота), более тощих глин. Плавни в сырых массах также играют роль отощающих добавок. Повысить пластичность масс можно вводом пластифицирующих добавок, длительным вылеживанием, вакуумированием.



*Ионнообменная способность* — вид и количество адсорбируемых катионов — оказывает большое влияние на систему глина — вода. В естественном состоянии на поверхностях глинообразующих минералов чаще всего адсорбируются катионы $Ca^{2+}$, $Mg^{2+}$, $Na^{+}$, $H^{+}$, которые при использовании растворов электролитов в большинстве случаев легко обмениваются с другими ионами. Причиной адсорбции ионов является их неправильное распределение в октаэдрических и тетраэдрических слоях глинистых минералов. Обменные катионы каолинита главным образом адсорбируются на свободной от гидроксильных групп площади основания, содержащей гидроксильные группы по краям кристаллов. Ионную способность глинистых минералов учитывают при подготовке пластичных масс и особенно литейных шликеров.

Мерой емкости обмена (емкость поглощения) принято называть количество катионов или ионов (г/моль $\cdot 10^3$), поглощенных 100 г глины и способных к обмену. Емкость катионного обмена возрастает с уменьшением размера глинистых частиц. Величина емкости поглощения колеблется, у каолинов она составляет 3—15, каолинитовых глин 9—20, гидрослюдистых глин 10—40, бентонитов 40—150 г/моль $\cdot 10^3$.

*Связующая способность* глинистых материалов проявляется в том, что они в массах связывают значительное количество отощающих материалов, обеспечивая при этом достаточную прочность высушенного полуфабриката. Количественно связующая способность характеризуется пределом прочности при изломе воздушно-сухих образцов. Тонкодисперсные, высокопластичные глины обладают большей механической прочностью (0,9—3 МПа), чем грубодисперсные каолины (0,6—2,5 МПа), хотя прямая зависимость между силами сцепления глинистых частиц и дисперсностью глин не установлена.

*Гигроскопичность* — способность глин и каолинов поглощать влагу из воздуха — тем выше, чем больше они содержат тонких фракций (<1 мкм). Гигроскопичность глин при нормальных условиях (20° С и 75% относительной влажности воздуха) 8—9%, у каолинов 2—4%. Высокая гигроскопичность высушенного полуфабриката затрудняет обжиг изделий, особенно по скоростному режиму, и может быть причиной ухудшения качества изделий.

*Разжижаемость* — важное свойство глинистых материалов, определяющее пригодность их для изготовления

изделий способом литья в гипсовые формы. Разжижению глинистых материалов и получению литейных шликеров (глинистых суспензий) с минимальной влажностью способствуют электролиты, особенно щелочные, содержащие катионы натрия. Количество вводимых электролитов зависит от минералогического состава глинистых материалов, их дисперсности. Наличие в растворе диссоциированных катионов $Ca^{2+}$ и $Mg^{2+}$ ухудшает разжижающую способность глин и каолинов, а также литейные свойства шликеров и вызывает их загустевание. Введение в массу одновалентных катионов металлов или аммония (сода, жидкое стекло и др.) обеспечивает такое разжижение шликера, при котором вязкость его становится минимальной при наименьшем содержании воды, что обеспечивает получение хороших отливок.

*Зыбкость* глинистых материалов — способность нормальной на вид пластичной массы растекаться при незначительном встряхивании. Зыбкость увеличивается у каолинов электролитного обогащения, если перед обезвоживанием избыточная щелочность не была нейтрализована. Зыбкость каолинов и масс снижается при добавлении коагулянтов — известкового молока, хлористого кальция, соляной кислоты, сернокислого кальция и др.

*Набухание* глин происходит при поглощении части цами глины паров воды и конденсации влаги в капиллярах и особенно при непосредственном увлажнении водой. Набухание определяется действием адсорбционных, осмотических, капиллярных сил. Различают внутрипакетное (внутрикристаллическое) и осмотическое набухание. У каолинов и каолинитовых глин внутрикристаллическое набухание отсутствует, и набухание обусловливается только капиллярным всасыванием. Степень набухания каолинов в основном соответствует общей пористости материала.

У монтмориллонита набухание обусловливается внедрением воды в межпакетное пространство кристаллической решетки, а также осмотическими силами. Величина набухания каолинов невелика (14—16%), у глин она больше (35—40%) и весьма значительна у бентонитов (до 16 раз). Процесс набухания глинистых частиц сопровождается небольшим выделением теплоты, что указывает на физико-химическую природу этого явления.

На величину набухания влияют минералогический и гранулометрический состав, гидрофильность глины, характер строения поверхности частиц, характер обменных катионов, полярность среды. При значительном увлажнении происходит размокание глинистых материалов.



Подогрев воды ускоряет процесс размокания. Пластичные глины труднее размокают, чем тощие.

*Тиксотропия* есть самопроизвольное обратимое упрочнение (уплотнение) керамической массы. Она возможна как у пластичных масс, так и у шликеров. Тиксотропное упрочнение керамической массы связано с развитием сольватных оболочек на глинистых частицах. Оно протекает неравномерно. В течение первых 1—2 сут прочность нарастает более активно, а затем этот процесс замедляется. Массы в состоянии тиксотропного упрочнения непригодны для формования. Их необходимо подвергнуть вторичному промину на шнековом прессе, а суспензии — интенсивному перемешиванию.

*Воздушная усадка* — способность свежесформованного полуфабриката уменьшать линейные размеры в результате удаления из него влаги при сушке. Она зависит от природы глин и каолинов, их дисперсности, размера и формы частиц, их ионообменной способности, количества воды затворения и содержания в массе отощающих материалов. Чем больше ионообменная способность и удельная поверхность глинистых материалов, тем больше расход воды для затворения и тем выше воздушная усадка. Воздушная усадка способствует отделению заформованных изделий от гипсовых форм в процессе сушки. Однако чрезмерная усадка при сушке приводит к растрескиванию и деформации изделий. Величину воздушной усадки снижают введением в массу отощающих материалов.

*Прочность* в высушенном состоянии характеризуется величиной предела прочности при изгибе высушенных образцов. Прочность при изгибе наиболее полно характеризует связь между числом пластичности, ионообменной способностью и удельной поверхностью глинистых материалов. Снижение в массе содержания отощающих материалов, введение пластифицирующих (бентонит и др.) или поверхностно-активных добавок способствуют повышению прочности изделий в высушенном состоянии.

*Огнеупорность* глинистых материалов условно определяется температурой, при которой образец — трехгранная усеченная пирамида из глины со стороной нижнего основания 8, верхнего 2 и высотой 30 мм настолько раз-

мягчается, что ее вершина наклоняется и слегка касается поверхности подставки. Глинистые материалы, не имеющие постоянного состава, размягчаются постепенно в широком интервале температур.

В зависимости от огнеупорности глины подразделяются на три группы: огнеупорные (О), тугоплавкие (Т) и легкоплавкие (Л). Огнеупорность глин О выше 1580° С. Эти глины имеют полиминеральный состав, тонкодисперсные, пластичны во влажном состоянии, обладают хорошей формующей способностью, что является их отличительной особенностью по сравнению с каолинами. Однако они имеют менее ясно выраженное кристаллическое строение и более загрязнены, чем каолины.

Огнеупорность тугоплавких глин колеблется в пределах от 1350 до 1580° С. По сравнению с огнеупорными глинами в них больше плавней (10—18%), они приобретают после обжига более темную окраску. Тугоплавкие глины используют в производстве химически стойких изделий, а также изделий бытового и строительного назначения.

Огнеупорность легкоплавких глин ниже 1350° С. Содержание плавней может быть до 30%. Эти глины отличаются большим непостоянством химико-минералогического состава. После обжига они окрашиваются в темные цвета. Используют легкоплавкие глины в производстве строительной керамики.

*Спекшееся состояние* характеризуется разностью температуры полного спекания и температуры начала деформации образца (пирамидки) под влиянием собственной массы. Величина этого интервала у разных глин колеблется от 10—20 до 100—250° С и больше.

По спекаемости различают глины сильноспекающиеся, среднеспекающиеся и неспекающиеся, способные при обжиге давать черепок без признаков пережога, с водопоглощением соответственно не более 2, не более 5 и более 5%.

В зависимости от температуры спекания глинистое сырье разделяется на группы низкотемпературного спекания — до 1100° С, среднетемпературного с температурой спекания 1100—1300° С и высокотемпературного — свыше 1300° С. По температуре спекания классифицируется только спекающееся глинистое сырье.

Полностью спекшийся черепок характеризуется минимальным водопоглощением (1—2%), отсутствием дополнительной усадки при обжиге при нагревании до более высокой температуры.

Интервал спекшегося состояния глины — важный показатель, определяющий область рационального использования глин. Чем больше интервал спекания, тем легче управлять процессом обжига, особенно изделий с плотным спекшимся черепком.

*Усадка при обжиге* (огневая усадка) — способность воздушно-сухих изделий изменять линейные размеры в результате физико-химических процессов. При одинаковых условиях тепловой обработки огневая усадка тем выше, чем дисперснее глинистые материалы и чем больше в них плавней (флюсов). Усадку при обжиге снижают отощающие добавки и более крупный помол компонентов массы. Усадка при обжиге каолинов и каолинитовых глин 2—17%, гидрослюдистых глин 9—15%, монтмориллонитовых глин до 23%.

*Водопоглощение* — свойство пористого черепка поглощать и удерживать воду при непосредственном соприкосновении с ней. Водопоглощение обожженных изделий резко снижается с повышением содержания плавней в массе, тонины помола компонентов массы, степени спекания, возрастанием огневой усадки. Водопоглощение является мерой полноты спекания материала изделия.

*Цвет* глин и каолинов в природном состоянии от белого до черного. Окраску определяют органические и неорганические примеси, всегда имеющиеся в глинистых материалах. Каолины, в отличие от глин, содержащих значительное количество красящих примесей, имеют более светлую, до белой, окраску. Цвет обожженных изделий определяется примесями минерального происхождения, температурой обжига и характером печной атмосферы (восстановительная, окислительная, нейтральная). Органические примеси не влияют на цвет обожженных изделий. Вредными примесями в фарфоровых и фаянсовых массах являются соединения железа и титана, снижающие белизну изделий. В массы изделий с повышенными требованиями по белизне вводится минимальное количество глины, необходимое для получения массы с достаточной формовочной способностью.

Цвет глин после обжига — от белого до темно-коричневого. Огнеупорные глины используют для производства огнеупоров, а беложгущиеся — в производстве фарфоровых и фаянсовых изделий бытового и строительного назначения, химически стойких и других изделий.

**Основные месторождения каолинов и глин.** Наша страна располагает огромными запасами глинистого сырья. В УССР эксплуатируются месторождения первичных каолинов — Просяновское (Днепропетровская обл.), Глуховецкое (Винницкая обл.), Дубровское (Житомирская обл.) и вторичных каолинов — Положское (Запорожская обл.), Новоселицкое (Черкасская обл.) В УССР имеются также месторождения высококачественного каолина в Закарпатье (Береговское), первичного щелочного каолина в Приазовье (Мануиловское, Екатерининское).

На Урале разрабатываются Кыштымское (Челябинская обл.) и Еленинское месторождения каолинов. Алексеевское (Кокчетавская обл.) месторождение первичных каолинов может быть сырьевой базой заводов Урала, Восточной Сибири и Дальнего Востока. На Дальнем Востоке также разрабатывается Святогорское месторождение каолинов, а в Приморском крае месторождение дацитового порфира («фарфоровый камень»). В Средней Азии находятся Ангренское (Ташкентская обл.) месторождение первичных и вторичных каолинов, Яблоновское месторождение (Казахская ССР) и др. Возможно освоение новых месторождений в БССР, Приморском крае и других экономических районах страны.

В керамической промышленности широко используют огнеупорные и тугоплавкие глины. Часов-ярские (Донецкая обл.) огнеупорные светложгущиеся глины являются лучшими для производства тонкой керамики. Для этих целей используют также глины дружковские, новорайские, николаевские, никифоровские (Донецкая обл.).

В производстве огнеупоров, химически стойких изделий применяют глины артемовские (Донецкая обл.) и лукошкинские (Липецкая обл.). Латненские (Воронежская обл.), боровичско-любытинские (Новгородская обл.) глины используют в производстве огнеупоров.

Глины уральских месторождений: белкинские (Свердловская обл.), нижнеувельские (Челябинская обл.) и другие — пригодны для производства огнеупоров, химически стойких изделий, санитарно-строительных изделий из фарфора и полуфарфора. В Сибири используют глины Вороновского (около Томска), Евсинского (Новосибирская обл.) месторождений и др. Глины месторождений Белое Глинище (вблизи Караганды), Танкерское и Айзин-Тамарское (вблизи Целинограда) пригодны для изготовления огнеупорного припаса. В производстве фарфоровых изделий эти глины, как и многие из ранее перечисленных, могут быть использованы только после обогащения.



Основные месторождения бентонитов Огланлинское (Туркменская ССР), Гисибринское и Асканское (Груз. ССР), Пыжевское, Черкасское, Горбское, Курцевское (УССР) и др.

Оценивая качество глин и каолинов с учетом требований производства тонкокерамических изделий, необходимо отметить, что каолин Просяновского месторождения является лучшим. В качестве примесей в нем присутствуют гидрослюда, кварцевый песок (до 45%), неразложившиеся зерна полевого шпата. Каолин подразделяется на сорта — высший, I, II и III (ГОСТ 6138—61). В каолине высшего сорта содержание красящих оксидов составляет 0,8%; I сорта — 1; II — 1,4; III — 1,8%. Для производства хозяйственного и художественного фарфора используется каолин высшего и I сортов, для производства санитарно-строительного фаянса и полуфарфора — II и III сорта.

Каолин Глуховецкого месторождения делится на I, II, III и IV сорта. Основные примеси — кварц (до 60%), биотит, магнезит, рутил и др. Каолин этот тонкодисперсный, мало пластичен, имеет бледно-кремовый оттенок. Содержание красящих оксидов ($Fe_2O_3+TiO_2$) в каолине I сорта — до 1,3; II — до 1,8; III — до 2,2; IV — до 2,9%. Он используется для изготовления фаянсовых изделий и огнеупорного припаса.

Часов-ярские огнеупорные, светложгущиеся глины тонкодисперсны (содержание частиц размером менее 0,005 мм достигает 96%), имеют большой интервал спекания: у основных разновидностей глин 600—700° С, у полукислых 300—400° С. Температура начала спекания 1000—1250° С. Глины подразделяются на марки: основные глины — Ч0, Ч1, Ч2; полукислые — Ч3, Ч1ПК, Ч2ПК. Содержание $Fe_2O_3$ в глинах Ч0 до 1,3; в глинах Ч1 — до 1,6; Ч2 — 2,3; Ч3 — не более 3%. Для остальных марок содержание $Fe_2O_3$ не регламентируется.

Дружковские глины огнеупорные, низкоспекающиеся (550° С). Разрабатываются на двух месторождениях: Веселовском и Новорайском. Глины Веселовского месторождения в соответствии с МРТУ 14-06-27-63 должны поставляться для фарфоровой промышленности трех марок: ДВФ (фарфоровая), ДВО (отборная) и ДВ1 (I сор-

та) — и содержать $Al_2O_3+TiO_2$ на прокаленное вещество не менее 33—35%, $Fe_2O_3$ — не более 1,4%. Глины Новорайского месторождения для фарфоровой промышленности поставляются двух марок: ДН-0 (отборная) и ДН-1 (1 сорт). Содержание в них $Al_2O_3+TiO_2$ должно быть соответственно не менее 34—35%, а $Fe_2O_3$ не более 1,3—3%.

Трошковская глина светложгущаяся, огнеупорная, отличается от обычных глин, используемых в фарфоро-фаянсовой промышленности тем, что, будучи в «камнеподобном» состоянии, почти не размокает в воде и не набухает. Плотная каолинитовая разновидность глины содержит в небольших количествах примесь монтмориллонита, имеет светло- и темно-серую до коричневой окраску в сыром состоянии. Образует пластичное тесто только после длительного тонкого помола в шаровой мельнице. Содержание монтмориллонита достигает 50%, в «рыхлой» разновидности до 80—90%. Глина делится на высший, I и II сорта. Содержание $Al_2O_3$ соответственно не менее 32,30 и 30%, а сумма $Fe_2O_3+TiO_2$ не более 1,3; 1,6; 2,5%. Для фарфоровых изделий используются высший и I сорта этой глины, II сорт — для огнеупорного припаса. Изделия из масс на основе трошкинских глин имеют повышенную белизну и просвечиваемость.

Латнеиские глины тонкодисперсны (0,001 мм 50—70%), высокоогнеупорны, так как содержат до 83% каолинита и реже гидрослюду. Цвет светло- и темно-серый до черного (углистого). Глины основные подразделяются на марки: ЛТ0, ЛТ1, ЛТ2 и ЛТ3 (отборная, I, II и III сортов); полукислые на марки: ЛТ1ПК, ЛТ2ПК и ЛТ3ПК. Углистые глины имеют одну марку ЛТУ. Содержание $Al_2O_3$ колеблется от 30 до 41%, $Fe_2O_3$ не более 2,5%. Ввиду высокого содержания красящих веществ латненские глины используют в производстве огнеупорного припаса.

**Обогащеиие глинистых материалов.** Каолины и светложгущиеся глины, введенные в тонкокерамические массы, улучшают их формовочные и литьевые свойства, повышают механическую прочность изделий в воздушносухом состоянии, прочность, термическую и химическую стойкость и белизну после обжига. Эти свойства глинистых материалов наиболее проявляются при высокой однородности химического, минералогического и гранулометрического составов, что достигается их обогащением.



Обычно первичные каолины используют в производстве только после обогащения (исключая каолин Дубровского месторождения, который используется в производстве фарфоровых изделий в сыром виде). Это объясняется тем, что в первичных необогащенных каолинах каолинита не более 45%, а глинозема в массах для тонкокерамических изделий должно быть не менее 35% при минимальном содержании красящих веществ $Fe_2O_3+TiO_2$ до 2,5%. В обогащенном каолине в основном преобладает каолинит, примеси песка колеблются в пределах 0,3—1,3% остатка на сите № 0056 (10085 отв/см$^2$), а содержание красящих веществ снижается более чем в два раза.

Обогащение глинистого сырья также способствует стабилизации состава и технологических свойств масс, повышает качество изделий и производительность оборудования, снижает транспортные расходы, улучшает технико-экономические показатели производства.

Способы обогащения основаны на различии физических и химических свойств компонентов минерального сырья — плотности, твердости, растворимости, электропроводности и магнитной восприимчивости, смачиваемости отдельными жидкостями и т. д. Выбор способа обогащения определяется химико-минералогическими свойствами сырья, условиями добычи, объемом производства, требованиями к обогащенному сырью и другими условиями.

*Механические способы* — рассеивание на ситах и воздушная сепарация широко используются непосредственно на производстве, являясь составной частью технологического процесса. Рассеивание позволяет не только отделить примеси от полезного компонента, но и разделить последний на фракции (зерна) определенного размера. Воздушная сепарация основана на различной скорости падения частиц в воздушном потоке в зависимости от их плотности. Осуществляется она в воздушных классификаторах, сепараторах, циклонах и фильтрах.

*Электрические способы* обогащения основаны на электрической и магнитной восприимчивости компонентов сырья. Наиболее распространены электромагнитные способы, используемые для разделения магнитно-восприимчивых минералов и отделения железистых включений. В соответствии с поведением в магнитном поле минералы разделяются на ферромагнитные (сильномагнитные),

парамагнитные (слабомагнитные) и диамагнитные (немагнитные). Отделение ферромагнитных материалов возможно в слабомагнитном поле напряженностью до 80 кА/м, парамагнитных — с напряженностью поля до 1,85 мА/м. Основные типы сепараторов с сильным магнитным полем — индукционные вальцевые, барабанные с крестовидным магнитом и дисковые. В производстве часто используют вальцовые сепараторы. В этих сепараторах на минеральную смесь действуют силы магнитного притяжения, силы тяжести и центробежные силы (вальцовые сепараторы).

*Гидравлические способы* обогащения широко используются как на предприятиях тонкой керамики, так и на горно-обогатительных предприятиях, непосредственно добывающих минеральное сырье. Мокрогравитационное обогащение как один из способов основано на различной скорости падения частиц в потоке жидкости (воды). Есть много способов мокрогравитационного обогащения от отмучивания до обогащения в гидроциклонах и центрифугах. В их основе лежит классификация частиц по плотности и крупности, а также различной смачиваемости зерен отдельных минералов водой (флотация). Скорость флотации регулируют вводом в водную суспензию флотационных реагентов (сосновое масло, древесный деготь и др.). Пену с частицами полезного минерала удаляют на сгущение (разрушение пены), фильтрование и сушку осадка. Полученный концентрат поступает потребителю. Осевшие частицы удаляются как отходы. Расход флотационных реагентов 100 г/т породы. Кроме этого, существуют способы ультразвукового и химического, а также комбинированные способы обогащения глинистого сырья.

Каолин обогащают мокрогравитационным (электролитным) и воздушно-гравитационным (сухим) способами с целью удаления не только красящих веществ, но и кварца, слюды и других минеральных примесей. Мокрогравитационный способ применяют на Просяновском, Глуховецком и Кыштымском каолиновых комбинатах. Последовательность основных процессов обогащения каолина приведена на рис. 4. Расход жидкого стекла 15—20 кг/т обогащенного каолина.

Добавление электролита интенсифицирует процесс обогащения, способствует повышению плотности каолиновой суспензии до (1,15—1,25) · $10^3$ кг/м$^3$ при одновре-



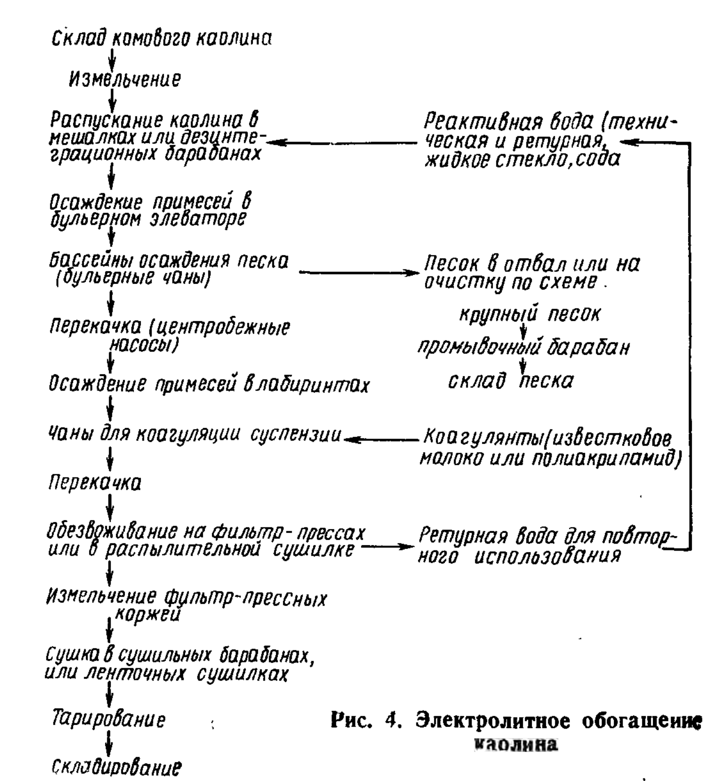



**Рис. 4. Электролитное обогащение каолина**

менном снижении расхода воды в 4—5 раз, улучшает условия отделения частиц от примесей. Содержание каолина в промывном песке (отходах) не должно превышать 2%.

Обезвоживание суспензии производится в камерных фильтр-прессах при давлении 1 МПа и времени фильтрации 50 мин. Сушка фильтр-прессных коржей, предварительно измельченных, осуществляется в сушильных барабанах. Температура теплоносителя на входе 800—900° С, на выходе 100—150° С. Далее каолин тарируется в мешки и поступает на склад готовой продукции.

Основной недостаток этого способа при использовании в качестве коагулянта известкового молока — трудность получения каолина со стабильными свойствами, из-за чего может произойти ухудшение литейных свойств шликера и формовочных свойств масс. Выдерживание каолина на складе в течение 2—3 мес способствует переходу гидрата оксида кальция $Ca(OH)_2$ в карбонат $CaCO_3$,

что положительно влияет на свойства каолина. При использовании в качестве коагулянтов 10%-ного раствора уксусной кислоты, 0,05%-ного раствора полиакриламида, калиево-алюминиевых квасцов, соляной кислоты этот недостаток в значительной мере устраняется, хотя эти добавки за исключением полиакриламида по эффективности слабее известкового молока. При безэлектролитном обогащении каолинов, особенно содержащих в значительных количествах песок фракции <5 мкм, наиболее целесообразно использование аппаратов, работа которых основана на центробежной силе: гидроциклонов и центрифуг. Обезвоживают каолиновую суспензию на фильтр-прессах или в распылительных сушилках при централизованном приготовлении массы. Преимущества гидроциклонов перед центрифугами в том, что они не имеют вращающихся частей, просты по устройству и высокопроизводительны.

Суспензия каолина после предварительной очистки от крупнозернистого песка поступает в гидроциклон (рис. 5) тангенциально через подводящий патрубок под давлением 0,2—0,4 МПа, отчего она приобретает вращательное движение. Содержащиеся в суспензии тяжелые частицы песка, прижимаясь к внутренней стенке цилиндрической части (диаметр гидроциклона 50—350 мм), опускаются и удаляются через выводное отверстие конуса. Тонкие частицы каолинита остаются во взвешенном состоянии и выносятся со сливом через верхнюю (торцовую) стенку гидроциклона. Потери каолина с песком не превышают 5—10%. Влажность осветленной суспензии после выхода из гидроциклона 70—75%. Производительность гидроциклона до 900 кг/ч. Гидроциклоны, изготовленные из чугуна или стали, должны футероваться внутри твердой резиной. В промышленных установках предусматривается каскадная, ступенчатая установка гидроциклонов для многократного пропуска суспензии.

При установке гидроциклонов на фарфоровых заводах обогащенная глинистая или бентонитовая суспензия заливается в шаровые мельницы или мешалки, что учитывается при расчете количества воды для роспуска каолина.

На каолиновых комбинатах после очистки каолиновый концентрат перемешивают в чанах с флокулянтом (коагулянтом) — полиакриламидом (25 г/м$^3$ суспензии) и обезвоживают на фильтр-прессах с последующей сушкой в сушильных барабанах или ленточных сушилках. Возможно обезвоживание суспензии в распылительных сушилках. Гидроциклоны позволяют получать каолин с остатком на сите № 0056 в пределах 0,03—0,15%, что невозможно достигнуть другими методами обогащения. Недостатком гидроциклонного обогащения является то,



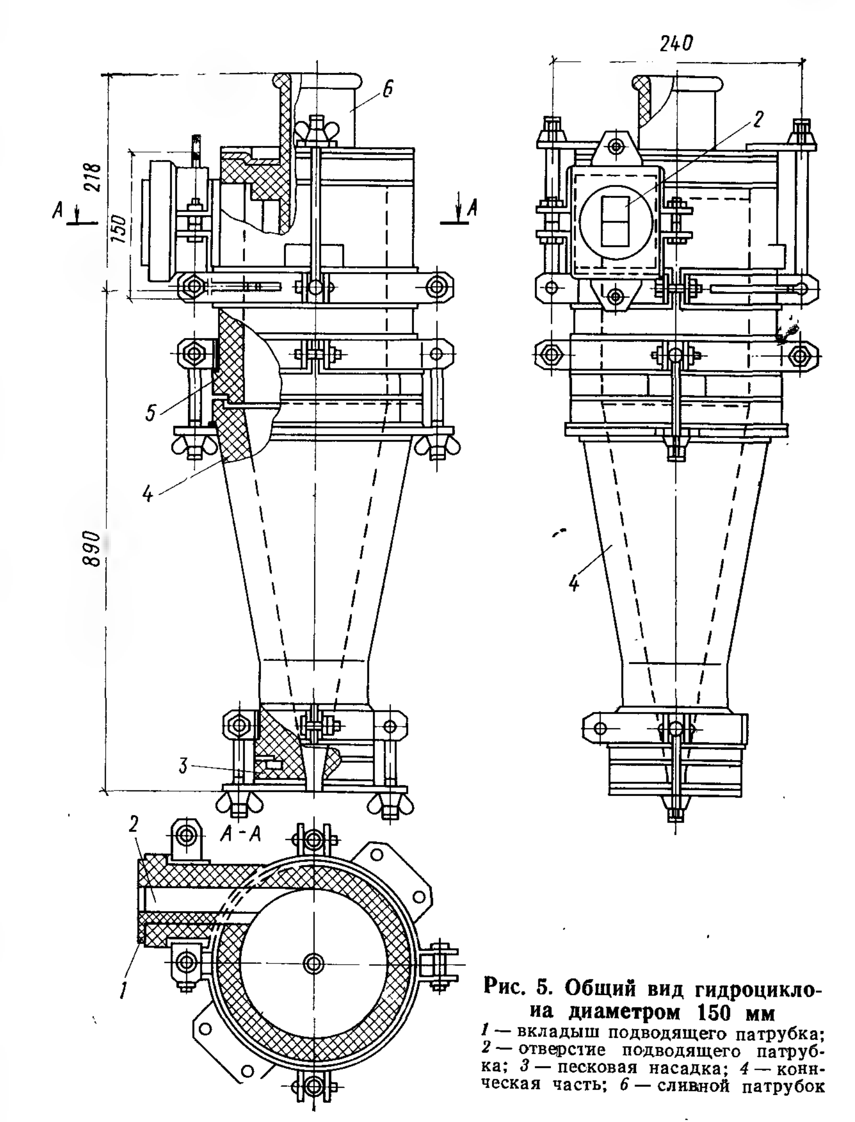



**Рис. 5. Общий вид гидроциклона диаметром 150 мм**

*1* — вкладыш подводящего патрубка; *2* — отверстие подводящего патрубка; *3* — песковая насадка; *4* — коническая часть; *6* — сливной патрубок

2 Зак. 334

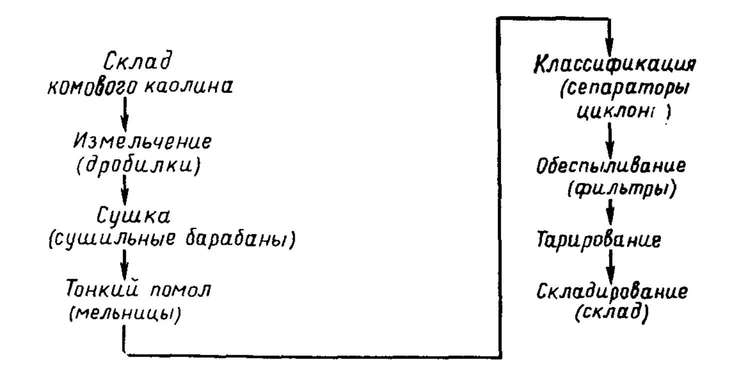



**Рис. 6. Сухое обогащение каолина**

что сильно разбавленная каолиновая суспензия требует значительных затрат на ее обезвоживание.

*Сухой способ* обогащения каолина, используемый на Просяновском каолиновом комбинате, включает следующие основные операции (рис. 6). Сушка каолина-сырца производится в сушильном барабане при 800—850° С за 40—45 мин до остаточной влажности 0,7—0,8%. Тонкий помол осуществляют в центрифугальных мельницах, а классификацию — в воздушных сепараторах и циклонах. Фракции размером менее 0,3 мм уносятся из мельницы воздушным потоком, более крупные частицы удаляются через разгрузочное отверстие. Тонина помола регулируется скоростью воздушного потока. Потери сырья в отходах при выпуске каолина I сорта около 10%, при выпуске каолина III сорта — до 3,5%. Очистка воздушного (газового) потока от мельчайших частиц (до 15%), не улавливаемых в сепараторах, производится в фильтрах — рукавных, электрических, или в пылеосадительных камерах. Коэффициент полезного действия фильтров около 98%.

Сухой способ обогащения каолина обеспечивает извлечение 80—82% ценных фракций из сырого каолина. Его целесообразно использовать при обогащении каолинов и глин, содержащих крупнозернистые примеси размером более 0,06—0,08 мм. Сухой способ обогащения каолинов проще мокрого, однако качество каолина, обогащенного этим методом, снижается за счет удаления наиболее ценной тонкой фракции, которую не удается уловить при воздушной классификации, что ухудшает



пластичность и связующую способность каолина. К недостаткам также следует отнести неоднородность свойств обогащенного каолина, что удлиняет процесс смешивания его при приготовлении массы на заводах.

*Комбинированный способ* обогащения глинистого сырья сочетает сухой способ обогащения с дополнительной обработкой отходов (хвостов) мокрой классификацией.

*Ультразвуковой метод* обогащения каолина основан на физическом воздействии упругих колебаний звуковой волны на каолиновую суспензию, разрушающем ее структурные связи, что способствует осаждению кварцевого песка из суспензий каолина. Эффективность обогащения при этом способе повышается при совмещении его с химическим обогащением, обеспечивающим удаление части красящих веществ.

*Электрофоретический способ* обогащения каолинов состоит в том, что в каолиновую суспензию плотностью 1,17—1,25 г/см³ вводят определенное количество элекролита — жидкого стекла (0,1—0,2% по $Na_2O$) — и пропускают через нее постоянный ток напряжением 75—100 В, плотностью около 0,01—0,02 А/см². Глинистые частицы, несущие отрицательный заряд, притягиваются анодом. Частицы примесей, не имеющие заряда или несущие положительный заряд, частично осаждаются на катоде, а основная масса уносится с обработанной суспензией. Этот способ позволяет наиболее полно извлекать глинистую часть, а расход электроэнергии относительно небольшой — до 40 кВт·ч на 1 т обогащенного каолина и около 0,8 м³ воды.

Обогащенный таким способом каолин отличается высоким содержанием глинистого вещества до 96—98%, чистотой и однородностью. Способ особенно эффективен, если в сырье в значительном количестве присутствуют примеси кварца с размером частиц 0,2 мм, плохо отделяемые при обогащении другими способами. Недостаток электрофоретического способа обогащения каолина — высокая влажность конечного продукта — 36—38%, а также недостаточная производительность установки — 150—200 кг/ч.

*Химическое* обогащение (отбеливание) каолинов производится тремя способами: сублимация активными газами железа при высокой температуре, перевод оксидов железа в магнитную форму с последующей магнитной сепарацией, активация кислотами и их солями каолина

при различных температурах и давлении. Наиболее перспективны способы, основанные на восстановлении в каолине $Fe^{3+}$ до $Fe^{2+}$ с последующим растворением соединений в слабых кислотах.

Химические методы обогащения обеспечивают наиболее полное удаление красящих оксидов, особенно оксида железа. За последние годы предложено много методов химического обогащения каолина. В УНИИСП разработан метод активации каолиновой суспензии крепкой соляной кислотой при температуре 100° С в продолжении 3 ч. После двух-трех промывок и фильтрации сернокислое железо удаляется из каолина. В ВНИИФ предложен метод удаления оксидов железа разбавленной серной кислотой. В Лесотехнической академии создан метод обезжелезивания каолинов растворимыми смолами в кислой среде. Растворенное железо удаляется фильтрацией и промывкой.

В ЧССР получил распространение метод гидросульфитного отбеливания каолиновой суспензии после гидроциклонного обогащения, которое осуществляется в реакторах и бескислородной среде. Каолин после обработки неоднократно промывается водой путем распускания каолина в воде и обезвоживания на фильтр-прессах. В США отбеливание каолина производится гидросульфатом в сернокислой среде. Узел отбеливания включен в схему гидроциклонного обогащения. В ГДР предложен метод отбеливания каолина для бумажной промышленности. Каолиновый шликер, содержащий соединения трехвалентного железа, обрабатывают кислым сернокислым натрием. Образующиеся соли двухвалентного железа обрабатывают фосфорной кислотой и в результате обменной реакции получают стабильный белый фосфат железа. Преимущество этого способа — устранение операций нейтрализации и гомогенизации шликера, сопутствующих обычным способам отбеливания каолина.

Значительные работы по химическому отбеливанию каолинов проведены в Японии, ФРГ и других странах. Общие недостатки этих и других методов химического обогащения каолинов: значительная сложность, необходимость применения специального оборудования, многократные промывки с последующим обезвоживанием, некоторое снижение качества за счет взаимодействия каолина с реагентами при повышенных температурах. Это ограничивает применение методов химического обогащения в промышленности.



*Вопросы для самопроверки*

1. В чем сущность процесса каолинизации?
2. По каким признакам классифицируют глинистые материалы?
3. Технологические свойства глинистых материалов.
4. Охарактеризуйте способы обогащения глинистого сырья.
5. В чем сущность электролитного обогащения каолинов?
6. Каковы особенности гидроциклонного обогащения каолинов?

## 2. Плавни

Плавни в керамических массах играют роль отощающих добавок. При обжиге плавни способствуют образованию легкоплавкого расплава, снижают температуру обжига изделий, повышают плотность черепка. В качестве плавней в массах тонкокерамических изделий используют полевой шпат, пегматит, нефелиновый сиенит, перлит, мел, доломит, тальк и другие материалы. Действие плавней в массе не одинаково. Полевые шпаты, пегматиты, нефелиновые сиениты сами переходят в расплав, Мел, доломит, тальк образуют расплав при взаимодействии с глинистым веществом, кварцем и другими компонентами массы.

*Полевые шпаты* составляют большую группу алюмосиликатов К, Na, Ca и реже Ва, широко (до 60%) представленную в земной коре минералами: ортоклазом (микроклином) $K_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 6SiO_2$, альбитом $Na_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 6SiO_2$, анортитом $CaO \cdot Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$ и др. В чистом виде они встречаются редко, так как, смешиваясь друг с другом, образуют твердые растворы.

По минералогическому составу полевые шпаты разделяются на три группы: натриево-калиевые полевые шпаты (ортоклазы), натриево-кальциевые полевые шпаты (плагиоклазы) и калиево-бариевые полевые шпаты (гиалофаны).

Калиевый полевой шпат $K_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 6SiO_2$ имеет окраску белую, кремовую до темно-красной, плотность 2,56—2,58 г/см³. Температура плавления 1130—1450° С. В природе встречаются две его разновидности — микроклин и ортоклаз, имеющие одинаковый химический состав, но отличающиеся кристаллографическими и кристаллооптическими свойствами.

Натриевый полевой шпат $Na_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 6SiO_2$ — альбит, белого цвета или с оттенками других цветов — красного, желтого, серого и др. Плотность его 2,62 г/см³, температура плавления 1120—1250° С.

Кальциевый полевой шпат $CaO \cdot Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$ — анортит, имеет желтоватый цвет, плотность 2,76 г/см³. Температура плавления 1250—1550° С. С увеличением содержания оксида кальция в полевом шпате снижается прозрачность расплава. Поэтому лучше применять щелочные полевые шпаты с содержанием анортита менее 20%.

Лучшие виды плавней для твердого фарфора натриево-калиевые полевые шпаты, в которых преобладает ортоклаз. Полевые шпаты этой группы обладают низкой температурой плавления и достаточно большим интервалом между спеканием и плавлением 140—220° С, а соотношение $K_2O$ и $Na_2O$ должно быть не менее 2. При прокаливании при 1350° С пробы, предварительно прошедшей через сито № 0112 (2630 отв/см²) для I сорта и № 0071 (6400 отв/см²) для II и III сортов, на ней не должно быть черных точек (мушек).

Полевые шпаты в чистом виде встречаются редко в крупнокристаллических магматических породах (пегматитовых жилах), и запасы их весьма ограничены. Чаще они встречаются в различных соотношениях в виде природных смесей минералов, загрязненных биотитом, магнетитом, пироксеном, амфиболами и др. Изоморфная смесь альбита и анортита образует плагиоклазы белого, серого, розового цвета с плотностью 2,62—2,76 г/см³. По содержанию анортита плагиоклазы делятся на три группы: кислые (до 30%), средние (до 60%) и основные (более 60%). Как плавни, плагиоклазы ниже полевых шпатов по качеству, так как имеют более высокую температуру плавления и меньший интервал спекания, чем у ортоклазов.

Основные разведанные и эксплуатируемые месторождения полевых шпатов расположены в Карельской АССР и Мурманской обл. (Куру-Ваара, Хето-Ламбина и др.), Сибири (Нарын-Кунтинское), Средней Азии (Карич-Сайское), на Урале (Вишневогорское, Алапевское).

*Пегматиты* — полевые шпаты, проросшие кварцем. Они широко используются в керамических массах в качестве заменителей полевых шпатов. Содержание кварца в пегматитах колеблется от 30 до 35%, полевого шпата от 65 до 70%.

Пегматиты, как и полевые шпаты, используемые в производстве тонкокерамических изделий, должны удовлетворять требованиям ГОСТ. В кусковом сырье содержание оксида железа не должно превышать 0,2%, а



$CaO+MgO$ — 1,5%, $K_2O+Na_2O$ должно быть не менее 12% (марка Ш1К) и 8% (марка П1К) при массовом соотношении $K_2O:Na_2O$ не менее 3. Содержание свободного кварца не более 8% (марка Ш1К) и 30% (марка П1К).

Температура плавления пегматитов 1230—1300° С. Как и плагиоклазы, пегматиты имеют непостоянный состав как по размерам зерна, так и по содержанию кварца, микроклина, плагиоклаза, что учитывается при расчете масс.

Основные эксплуатируемые месторождения пегматитов расположены в Карельской АССР (до 80% общей добычи), на Украине, Урале, в Сибири.

*Нефелиновый сиенит* представляет собой горную породу, содержащую минералы нефелина $K_2O \cdot 3N_2O \cdot 2Al_2O_3 \cdot 9SiO_2$, альбита $Na_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 6SiO_2$, микроклина $K_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 6SiO_2$, а также примесей слюды, магнетита и др. Плотность его 2,58—2,64 г/см³, температура плавления около 1200° С. Содержание щелочей в нефелине составляет 20—30%.

Нефелиновые сиениты обычно загрязнены железистыми примесями и в производстве фарфоровых и фаянсовых изделий бытового назначения до настоящего времени не используются. Их применяют в производстве химически стойких изделий, плиток для полов, фаянсовых облицовочных плиток, покрываемых глухими (непрозрачными) глазурями, в количествах 20—30% по массе.

Опыт использования нефелинового сиенита показывает, что введенный взамен полевого шпата в эквивалентно-молекулярных количествах он снижает температуру спекания массы не меньше, чем полевой шпат, а в отдельных случаях и больше, увеличивает сопротивление разрыву и повышает эластичность черепка. Ввод в массу нефелинового сиенита снижает пористость черепка, несколько повышает механическую прочность и огневую усадку, уменьшает склонность к образованию цека глазури.

Наиболее крупные месторождения нефелиновых сиенитов находятся в Удерейском р-не Красноярского края, в Хакасской автономной области — Булан-Кульское, в УССР — Мариупольское, на Урале — Чистогоровское и др.

*Перлиты* — стекловидные вулканические породы, имеющие температуру размягчения 1040—1070° С, тем-

пературу плавления 1300—1320° С. Они вводятся в керамические массы в качестве заменителя полевого шпата в тех случаях, когда не требуется высокая белизна изделия. Основное месторождение перлитов, пригодных для использования в керамических массах, Арагацкое в Армянской ССР.

Использование заменителей полевого шпата экономически выгодно, так как расширяет сырьевые ресурсы керамической промышленности, высвобождает ресурсы полевого шпата для применения в глазурях и массах для изделий специального назначения, снижает транспортные расходы за счет использования местного сырья. При хорошем обогащении заменителей полевого шпата получают высококачественные изделия.

*Тальк* $3MgO \cdot 4SiO_2 \cdot H_2O$ с плотной структурой называют жировиком, или стеатитом. Минералогический состав талька: тальк — 94—99%, хлориты 1—6, рудные минералы — менее 1%. Огнеупорность талька 1490—1510° С.

В массах облицовочных плиток, огнеупорного припаса, специальной керамики и других изделий используют тальк Онотского, Миасского, Шабровского месторождений.

*Мел, мрамор* $CaCO_3$ и *доломиты* $CaCO_3 \cdot MgCO_3$ реже используются как добавки в массу и широко применяются для приготовления глазури.

Карбонатные материалы не должны содержать вредных примесей, особенно железистых. Качественные доломиты должны содержать $Fe_2O_3$ не более 0,2% (I сорт) и 0,3% (II сорт); для глазурей соответственно — 0,1 и 0,15%. Содержание $SiO_2$ не должно превышать 3% для I и II сортов. Флюсующее действие доломита выше, чем мела и мрамора, особенно при температурах выше 1100° С. Карбонатные породы широко распространены на территории страны. Известны Белгородское, Кричевское, Кушниковское, Шидловское и другие месторождения мела и известняков. Основные месторождения доломитов: Щелковское, Билимбаевское, Боонийское, Ковровское и др.

*Вопросы для самопроверки*

1. **Какова роль плавней в керамических массах?**
2. **Что представляют собой полевые шпаты и пегматиты как плавни?**
3. **Заменители полевых шпатов, их особенности.**
4. **Чем выгодно использование заменителей полевого шпата в керамических массах?**



### 3. Отощающие материалы

Для регулирования технологических свойств формовочной массы и литейных свойств шликеров, а также получения изделий с заданными свойствами в производстве фарфоровых и фаянсовых изделий используют отощающие материалы — кварц жильный молотый, кварцевый песок, кварцевые отходы обогащения каолинов, шамот из боя изделий или полученный обжигом глин и каолинов и др.

Отощающие материалы активно участвуют в изменении не только свойств массы, но и в формировании черепка изделий, оказывая влияние на их физико-технические свойства.

*Кварцевый песок* — рыхлая сыпучая порода, состоящая из мелких обломков и зерен различного размера: 0,01—0,25 мм — мелкозернистый песок, 0,25—0,5 мм — среднезернистый, 0,5—1 мм — крупнозернистый и 1—2 мм — грубозернистый. По минералогическому составу пески состоят в основном из кварца с примесью различных минералов — слюды, глауконита, глины, полевых шпатов и др. По происхождению пески могут быть речными, озерными, морскими и дюнными (эоловые).

Кварцевые пески, получаемые в Авдеевском, Часовярском (Донецкая обл.), Водолажском и Новоселовском (Харьковская обл.), Люберецком (Московская обл.) карьерах, а также на обогатительных фабриках каолиновых комбинатов, являются качественным сырьем для производства керамических изделий. Они содержат от 91 до 99% $SiO_2$.

Кварцевые пески, получаемые при обогащении каолинов, не должны содержать более 0,2% соединений железа для I сорта и 0,3% для II сорта, а содержание $SiO_2$ не должно быть менее 95 и 93% соответственно для I и II сортов. Содержание каолина и CaO допускается для I сорта до 1% и для II сорта до 2%. Обычно примеси неотделенного каолина в кварцевых песках, полученных при обогащении каолинов, составляют 5—10% при мокром способе обогащения и 20—25% при сухом.

Качество кварцевого песка определяется огневой пробой. При наличии в кварцевых песках крупных примесей полевого шпата, известняка их удаляют на концентрационных столах, а также просевом на плоских ситах или грохотах.

*Каолинизированный кварцит* (гусевский камень) подразделяется на две разновидности. Бесщелочная разновидность ($K_2O+Na_2O<0,5\%$) темно-серого цвета представляет собой каолинизированный вторичный кварцит, образовавшийся в результате гидротермального изменения кислой эффузивной (изверженной) горной породы типа дацитового порфира, состоящей до 56% из кварца и около 40% из каолинита. Вторая разновидность нормальной щелочности ($K_2O+Na_2O$ до 2,5%) белого, серого и темно-серого цветов, состоящая из 50—55% кварца, 20—30% каолинита и 14—22% гидрослюды типа гидромусковита.

По РТУ РСФСР 822—67 гусевский камень делится на сорта: высший (красящих оксидов до 0,6%), I (красящих оксидов до 0,6%, щелочей до 2,5%) и II (красящих оксидов до 1%, щелочей до 2,5%). Потери при прокаливании (ППП) 4,51—5,63, огнеупорность — 1650—1670° С. Ввод в фарфоровые массы до 50% гусевского камня частично заменяет полевой шпат, каолин и кварцевый песок, способствует повышению белизны до 67—74% и просвечиваемости.

*Жильный кварц* используют для приготовления глазури. Он встречается в природе в чистом виде сравнительно редко. Известны Чупинское и Медвежьегорское (Карельская АССР), Кейвское (Мурманская обл.), Кыштымское (Челябинская обл.), Нарын-кунтинское (Иркутская обл.), Джезказганское (Карагандинская обл.) и другие месторождения жильного кварца.

*Пирофиллит* (водный алюмосиликат состава $Al_2O_3 \cdot 4SiO_2 \cdot H_2O$) содержит 65—71% $SiO_2$. На ощупь он мягкий, жирный, легко рассыпается в руке. Цвет белый, плотность 2,84 г/см$^3$, огнеупорность 1520—1790° С. В воде пирофиллит не размокает и не набухает, при нагревании почти не изменяет объема, усадка всего около 1%. Массы, содержащие до 40% пирофиллита, одинаково хорошо поддаются оформлению пластическим формованием и литьем в гипсовых формах. Основные месторождения пирофиллита — Суранское, Спасское, Чистогоровское, Овручское, Збранковское и др.

*Шамот* получают в результате помола отходов производства — боя изделий после первого и второго обжига, а также при обжиге каолина (каолиновый шамот), огнеупорной или тугоплавкой глины (глиняный шамот), из боя огнеупорного припаса и др. Качество шамота зависит от температуры обжига и характеризуется величиной водопоглощения. Различают шамот спекшийся (при температуре 1100—1350° С, водопоглощение 3—12%) и низкожженный (при температуре 600—800° С, водопоглощение 22—28%). В производстве керамических изделий обычно используют спекшийся шамот и реже низкожженный (дегидратированная глина). Обожженный каолин в массах повышает их прочность и улучшает эксплуатационные качества изделий.



**Обогащение каменистых материалов.** Отощающие материалы и плавни, составляющие до 50% фарфоровой массы, требуют обогащения с целью снизить содержание красящих оксидов, повысить однородность химического и минералогического составов.

Полевые шпаты и пегматиты обогащают способами электромагнитной сепарации, флотации, разделения в тяжелых средах, избирательного измельчения, химическими методами.

Удаление вредных примесей осуществляется электромагнитной сепарацией и флотацией предварительно измельченного сырья. Последовательность технологических операций по обогащению полевых шпатов и пегматитов способом электромагнитной сепарации приведена на рис. 7. Производительность такой линии составляет 0,3—0,4 т/ч, расход электроэнергии 65—75 кВт·ч/т продукции, расход воды до 2 м$^3$/т переработанного материала.

Кварц жильный предварительно подвергают грубому дроблению до величины кусков 30—50 мм, промывке в цилиндрической барабанной мойке. Обжигают кварц при температуре 850—900° С по жесткому режиму с целью понизить его прочность при последующем среднем и тонком помоле и ослабить вредное влияние модификационных превращений кварца в керамической массе при обжиге изделий. Производительность линии обогащения жильного кварца до 0,5 т/ч при расходе электроэнергии около 50 кВт·ч/т готового продукта. Расход теплоты 95—10,7 кДж, воды 1,8—2 м$^3$ на 1 т обобжженного кварца.

Кварцевые пески обогащают для снижения содержания красящих оксидов, повышения стабильности химического и гранулометрического составов. Известны следующие методы обогащения песков: ситовая сепарация, промывка глинистых песков (если пески не содержат пленочных гидроксидов), промывка с оттиркой песков,

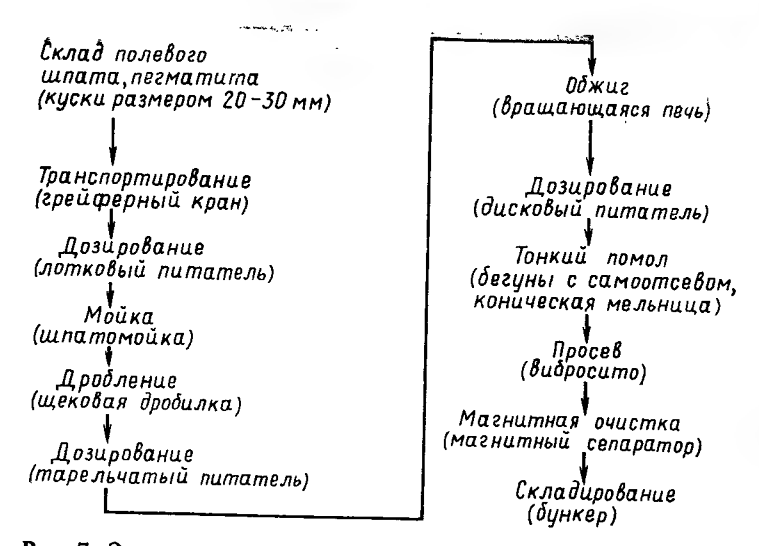



**Рис. 7. Электромагнитная очистка полевого шпата и пегматита**

имеющих пленочные гидроксиды, флотация вместе с оттиркой (флотооттирка), электромагнитная сепарация. Электромагнитная сепарация применяется в тех случаях, когда в песках присутствуют красящие примеси в виде зерен, обладающих магнитными свойствами (магнетит, титаномагнетит и др.), а также для улавливания аппаратного железа для предохранения оборудования от износа. В линиях сепарации чаще всего используют индукционно-роликовые магнитные сепараторы.

Независимо от метода обогащения при влажности песка выше 4—4,5% его сушат в сушильных барабанах, в шахтных, трубчатых и других сушилках.

Доломит как материал пониженной прочности обогащают путем просева на ситах № 09 (64 отв/см$^2$) с последующей магнитной сепарацией предварительно измельченного материала. Производительность линии при использовании для измельчения доломита бегунов с самоотсевом до 3 т/ч, расход электроэнергии 40—45 кВт·ч/т измельченного доломита.

Утельный черепок (неглазурованный) предварительно измельчают и обогащают аналогично обогащению доломита. Политой черепок (глазурованный) предварительно сортируют от декорированного боя, промывают в шпатомойке (моечном барабане), дробят в щековой дробилке и мелят на бегунах. Просев продукта размола



осуществляют на вибросите или грохоте с сеткой 64 отв/см$^2$, пропускают через магнитный сепаратор и направляют в бункер, откуда дозируют согласно расчету на тонкий помол в шаровой мельнице.

Производительность участка обогащения до 3 т/ч, расход электроэнергии до 70 кВт·ч, воды до 1,5 м$^3$ на 1 т обогащенного черепка.

**Вспомогательные материалы.** Для регулирования свойств пластичных масс, шликеров, глазурей и красок, а также воздействия на отдельные технологические процессы (роспуск глинистых материалов, помол каменистых материалов и др.) в производстве фарфоровых и фаянсовых изделий широко используют вспомогательные материалы: поверхностно-активные вещества (ПАВ), электролиты, кремнийорганические соединения и др. Кроме того, широко применяют добавочные материалы: фильтровальные ткани, сетки, мелющие тела, заглаживающие материалы, различные масла, мастики, деколь и др.

*Вопросы для самопроверки*

1. **Роль отощающих материалов в керамических массах.**
2. **Характеристика кварцевых песков.**
3. **В чем заключаются полиморфные превращения кварца при нагревании?**
4. **Как происходит электромагнитная очистка полевого шпата и пегматита?**

## 4. Приемка, складирование и хранение сырьевых материалов

Производство керамических изделий — отрасль материалоемкая, связанная со значительным расходом сырьевых материалов — более 3,5 млн. т. глин и каолинов (без учета легкоплавких глин) и около 130 тыс. т плавней ежегодно. Расход основных сырьевых материалов на 1 т изделий из фарфора и майолики — 1,63 т, фаянса — 1,5, для приготовления глазури для фарфора — 0,115, фаянса — 0,085, майолики — 0,07 т. Доля основного сырья в себестоимости этих изделий 8—12%, в том числе глинистого — 4—5%, а вспомогательных и добавочных материалов от 8 (майолика) до 11—12% (фарфор, фаянс).

Снижение стоимости сырья в себестоимости изделий возможно за счет использования обогащенного сырья,

широкого применения местного сырья, а также организации централизованного приготовления керамических масс и шликеров (см. главу IV). Приемке сырья, его хранению и экономному расходованию должно уделяться значительное внимание.

Сырьевые, вспомогательные и другие материалы, поступающие на завод, помещают в специально оборудованные склады, а при наружном хранении (каменистые кусковые материалы) — на отведенные для этих целей площадки, над которыми должны быть устроены навесы. Площадки необходимо приподнять над поверхностью земли, чтобы предохранить их от загрязнения, а также сделать стоки для удаления атмосферных вод.

В закрытых складах для хранения сырьевых материалов без тары предусматривается устройство отсеков (закромов), а также ларей. Материалы на складе хранят раздельно по видам, сортам, маркам и т. п., исключая смешивание или загрязнение. Для учета запасов сырья на складе служат складские карточки учета. В них указывают нормы минимального и максимального запаса материалов, а также движение материалов на складе. Склады оборудуют транспортными средствами — мостовыми кранами, автокарами, весовыми тележками и др.

Количество и качество всех сырьевых материалов, поступающих на склад завода, проверяют согласно требованиям стандартов, технических условий и другой документации.

*Вопросы для самопроверки*

1. **Каким требованиям должны удовлетворить открытые складские помещения?**
2. **Пути снижения расхода сырья.**

## ГЛАВА 3. ОБРАБОТКА СЫРЬЕВЫХ МАТЕРИАЛОВ

### 1. Подготовка сырьевых материалов

**Подготовка каменистых материалов.** Основные сырьевые материалы поступают на переработку в виде кусков (кроме песка). В зависимости от величины кусков дробление производят так, как показано на рис. 8. На заводах сырьевые материалы обычно подвергают



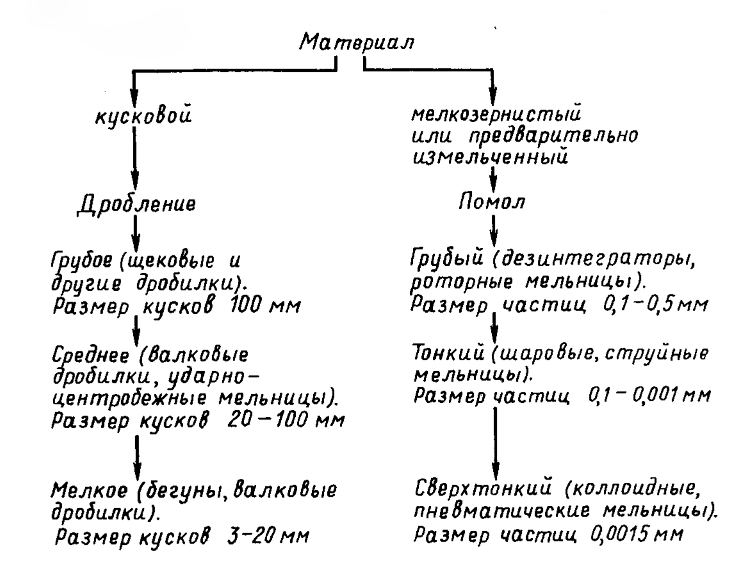



**Рис. 8. Измельчение сырьевых материалов**

грубому, среднему и мелкому дроблению, грубому и тонкому помолу. Тонкий помол завершает механические процессы измельчения материалов. Сверхтонкий помол в керамическом производстве еще не используется.

Выбор дробильно-помольного оборудования определяется физическими свойствами материала и требованиями, предъявляемыми к продуктам размола.

**Дробление и грубый помол.** Кусковые каменистые материалы (кварц, полевой шпат, пегматит) перед измельчением моют и обжигают. Иногда мойке подвергают предварительно обожженные материалы. Моют кусковые материалы в шпатомойке. Цилиндр шпатомойки футеруют силексом или фарфоровой клепкой. Предварительный обжиг с последующим резким охлаждением способствует повышению размолоспособности каменистых материалов. В результате резкого охлаждения куски материала растрескиваются по плоскостям спайности, что облегчает обнаружение вредных примесей — слюды, роговой обманки, железистых и других включений. Сортировка обожженного камня производится на ленточном конвейере.

Для грубого и среднего дробления кусковых материалов используют щековые дробилки, в которых материал

раздавливается между подвижной и неподвижной щеками. Поскольку прочность дробильного материала обычно не превышает 250 МПа, на заводах в основном применяют дробилки со сложным движением щеки и реже с простым.

Степень измельчения материалов в щековых дробилках 3—6. При степени измельчения, равной 4, расход электроэнергии на 1 т продукции колеблется в пределах 0,35—0,44 кВт·ч для мягких пород, 0,58—0,73 кВт·ч для пород средней твердости и до 0,73—0,8 кВт·ч для твердых пород, причем расход электроэнергии изменяется примерно пропорционально степени измельчения материала.

Последовательность основных технологических операций на участке предварительного (грубого) дробления материала приведена на рис. 9. Производительность линии предварительного дробления материала 0,45—0,5 т/ч, расход электроэнергии 45—50 кВт·ч, расход воды на мойку 1,5—2 м$^3$, расход теплоты на обжиг — 90—102 кДж на 1 т материала.

Среднему дроблению и грубому помолу подвергают полевой шпат и пегматит до прохождения без остатка через сито № 1, 25 (34,6 отв/см$^2$) (рис. 10, вариант 1), а бой изделий, доломит и кварц — через сито № 09 (64 отв/см$^2$) (рис. 10, варианты 2 и 3). Расход воды на промывку 1 т обогащенного черепка равен примерно 1,5 м$^3$. При производительности линии 0,25—0,3 т/ч расход электроэнергии на измельчеине 1 т материала составляет 40—50 кВт·ч.

Для мелкого дробления и грубого помола кварца, пегматита, боя изделий и других материалов применяют бегуны. Принцип действия бегунов основан на раздавливании и одновременном истирании материала, что обеспечивает увеличенное содержание мелких фракций в продуктах размола. Для того, чтобы в массу не попадало железо, катки изготовляют из прочного гранита или песчаника. Металлическую чашу футеруют гранитными плитами. Коэффициент полезного действия бегунов 0,6—0,8. При необходимости выделения тонких фракций из продуктов размола применяют воздушные сепараторы, работающие по замкнутому циклу с бегунами. Если каменистые материалы подвергают предварительному обжигу, то их направляют затем на тонкий помол, минуя среднее дробление.



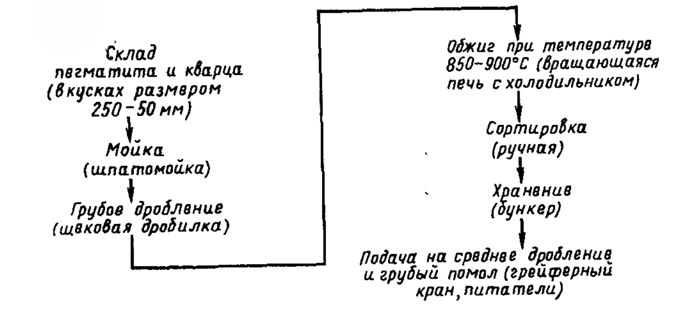



**Рис. 9. Грубое дробление каменистых материалов**

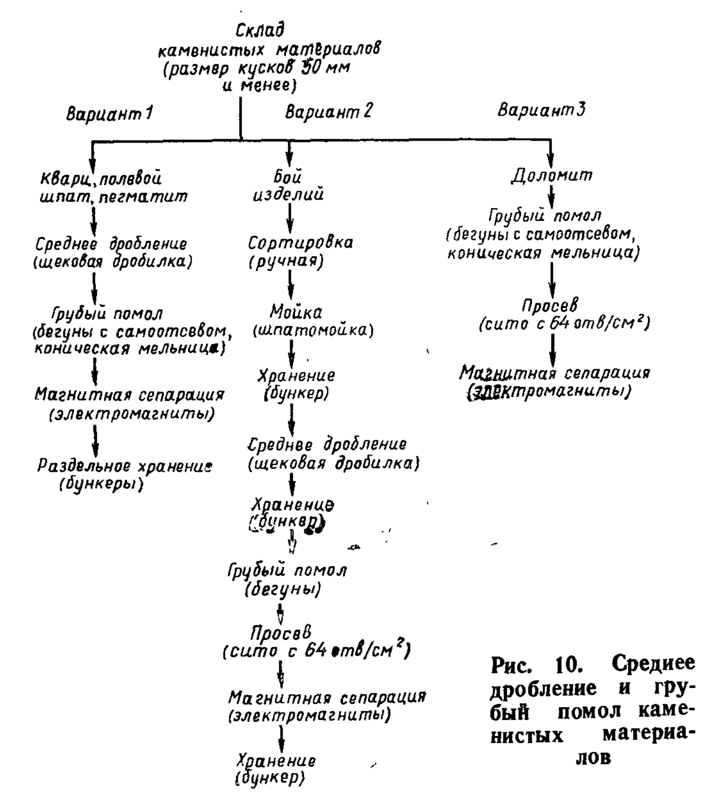



**Рис. 10. Средиее дробление и грубый помол каменистых материалов**

При обогащении каолина кварцевый песок и кварцевые отходы используют в производстве без предварительной подготовки, в редких случаях их моют на моеч-

ных вибростолах, хотя мойка песка снижает содержание в нем красящих оксидов почти в два раза, а содержание глинистых—до 1%. Просеивают песок для массы на вибросите с 4 отв/см², для глазури на сите № 05 (193 отв/см²).

Бой изделий после сортировки и предварительного дробления до прохождения через сито № 09 (64 отв/см²) подают в бункера. Иногда бой изделий подают непосредственно на тонкий помол в шаровую мельницу.

**Мокрый тонкий помол.** Независимо от способа тонкого помола разрушение материала начинается в его наиболее ослабленных местах — стыках между частицами материала, порах, трещинах и др. Помол материала в водной среде ускоряет этот процесс.

Высокая гидрофильность размалываемых материалов способствует тому, что молекулы воды размером 0,14 нм, быстро смачивают вновь образующиеся при разрушении поверхности частицы, способствуя помолу. Добавление 0,5—1% ПАВ усиливает расклинивающее диспергирующее действие воды, так как молекулы ПАВ более подвижны, чем молекулы воды. Это улучшает смачивание поверхности частиц и приводит к более быстрому накапливанию воды в устьях у начала трещин. В микротрещинах создается двухмерное давление, направленное в глубь частицы, которое, действуя одновременно с понижением свободной поверхностной энергии частиц, ускоряет их разрушение (образование зоны предразрушения). Образуя полимолекулярный слой на поверхности микротрещин толщиной от сотен до тысяч молекул (до 0,1 мкм), вода действует как поверхностно-активная добавка, развивая в самых узких участках трещин давление до 245 МПа. Этим объясняется большая интенсивность мокрого измельчения каменистых материалов в шаровой мельнице по сравнению с сухим (на 35—45%). Это также объясняется и тем, что наряду с адсорбционным понижением прочности, насыщением свободных связей измельченного материала и дезагрегирующим действием воды, повышается удельная энергия удара шаров ввиду меньшего демпфирующего (амортизирующего) действия водной суспензии по сравнению с действием порошков в слое при сухом помоле материалов.

Тонкий помол повышает реакционную активность относительно инертных при нормальной температуре каменистых компонентов массы, создает условия для дополнительной очистки их от вредных примесей, ускоряет протекание сложных процессов формирования черепка при высоких температурах обжига и физико-технических свойств изделий. Тонкий помол сырьевых материалов способствует разрушению структуры материала, частичной деформации кристаллической решетки и, следовательно, ее активизации. Изменяются и поверхностные свойства материала. Электрический заряд, возникающий на поверхности частиц при их измельчении, повышается по мере их измельчения до определенного предела, а затем уменьшается и может служить характеристикой поверхностной активности материала.



Высвобождение энергии вызывает качественные изменения материала. Так, при весьма тонком (меньше 2 мкм) сухом помоле каолина в вибромельнице наблюдается аморфизация кристаллической решетки каолинита, связанная с возникновением дефектов, сдвигом пакетов, разрывом связей между слоями (до 97% при продолжительности помола 30 ч). С повышением тонины помола уменьшается число частиц каолина, имеющих гексагональную форму, и увеличивается количество частиц ромбической модификации. При более длительном помоле происходит агломерация (слипание) частиц вследствие значительного увеличения поверхностной энергии. Длительный помол отрицательно влияет на технологические свойства массы и процессы фарфорообразования при обжиге. Использование в фарфоровой массе каолина с размером частиц менее 2 мкм способствует повышению пластичности массы, прочность на изгиб в сухом состоянии возрастает почти в 2 раза, повышается плотность сырца и улучшается его механическая обработка.

Помол кварца происходит селективно по кристаллографической ориентации с одновременным повышением анизометрии. При этом изменяется не только размер частиц, но и их форма. При измельчении песка в шаровой мельнице окатанную форму имеют только зерна размером более 230 мкм. С уменьшением размера частиц их форма становится угловатой. У фракций размером зерен менее 200 мкм не наблюдается резких различий в форме при измельчении в различных помольных агрегатах. Тонкий помол способствует отделению отдельных примесей, например слюды, при последующем пропуске

суспензии через сито, повышает однородность структуры изделий, увеличивает ее реакционную способность, в том числе образование стекломуллитовой фазы при обжиге, снижает количество остаточного (нерастворившегося) кварца, улучшая тем самым термическую и механическую прочность изделий. Тонкий помол кварца повышает белизну и просвечиваемость фарфоровых изделий и снижает их пористость. Учитывая высокую активность кварца в процессах фазообразования при обжиге, его подвергают более тонкому (до 25 мкм) помолу, чем полевой шпат. Помол кварца до 3—60 мкм приводит к значительному повышению модуля упругости материала. Использование тонкодисперсных исходных материалов способствует образованию большего количества расплава, насыщенного кварцем, и позволяет существенно сгладить кривую, характеризующую модификационные изменения кварца при 500—600° С, а также снижению содержания полевого шпата в массе и перерождению кварца в кристобалит.

С повышением дисперсности кварца увеличиваются линейная усадка и плотность, снижаются пористость и водопоглощение фаянсовых изделий. Коэффициент линейного термического расширения при 200—600° С, а также возможность растрескивания изделий при резком повышении температуры и их деформаций при обжиге возрастают.

Чем тоньше помол и равиомернее гранулометрический состав массы, тем выше реакционная способность плавней. Исключение из массы крупных частиц плавней повышает равномерность распределения стеклофазы в черепке, снижает его пористость, предохраняет от снижения флюсующего воздействия крупных частиц полевого шпата, уменьшает размер железосодержащих минералов, облегчает литье и способствует получению отливок с более гладкой поверхностью. Крупнозернистый полевой шпат плохо распределяется в массе, поэтому в черепке возникают участки с низкой вязкостью расплава при обжиге. С повышением тонины помола полевого шпата образуются мелкие кристаллы муллита, а стекловидная фаза становится более однородной. Кристаллы муллита в этом случае распределяются по черепку более равномерно, чем при менее тонком помоле, что улучшает физико-технические свойства изделий. Оптимальная тонкость помола массы, мкм: для фарфоровых изделий, санитарно-строительной керамики и фаянсовой посуды, а также других видов тонкой керамики (скульптуры) — до 60, глазурованных стеновых облицовочных плиток — около 60, плиток для пола, мозаичных плиток, химически стойких изделий — 60—200.



Тонкий помол каменистых материалов осуществляют обычно мокрым способом в шаровых мельницах и реже сухим способом. В производстве тонкокерамических изделий наиболее широко применяются шаровые мельницы мокрого помола периодического действия с загрузкой и разгрузкой через люк. Максимальный размер кусков загружаемого материала не должен превышать 20—40 мм. Чем меньше куски загружаемого материала, тем эффективнее работа шаровой мельницы. Шаровые мельницы вместимостью 0,2—8,2 м$^3$ футеруют кремневыми, стеатитовыми, высокоглиноземистыми, фарфоровыми брусками и реже резиновыми плитами. Толщина брусков 75—100 мм, срок службы кремневой футеровки до 6 тыс. ч, фарфоровой — до 20 тыс. ч работы мельницы. Мелющие тела (кремневая галька, фарфоровые, стеатитовые или уралитовые) имеют размер 30—90 мм в поперечнике. Износ кремневых мелющих тел составляет 0,5—2% массы размалываемых материалов (кремневой гальки 0,05—0,08%, уралита 0,025% за 1 ч работы мельницы). Содержание мелющих тел размером 30—50 мм в общем объеме загрузки шаровой мельницы составляет 25—50%, 50—70 мм — 30—60%; 70—90 мм — 20—25% и зависит от состава массы, глазури и фритты. Преобладание шаров большого диаметра способствует более быстрому первичному дроблению каменистых материалов. более тонкий помол осуществляется трением телами меньшего диаметра.

При снижении размера частиц, загружаемых в мельницу, до 3 мм и предварительном помоле кварца производительность мельницы увеличивается на 25%. Материалы, загружаемые в шаровую мельницу, должны предварительно просеиваться через сито № 1,25 (34,6 отв/см$^2$). Мелющие тела размером менее 30 мм в поперечнике удаляют из мельницы. Для этого периодически (один раз в месяц) мелющие тела выгружают из мельницы, сортируют, удаляя изношенные шары. Текущий износ мелющих тел компенсируют согласно расчету добавкой их при каждой загрузке материала в барабан мельницы. Оптимальный коэффициент загрузки

мельницы мелющими телами равен 40—55% (0,4—0,45 т и на 1 м³). Количество материала, загружаемого в шаровые мельницы, колеблется от 0,4 до 0,45 т на 1 м³. Барабан мельницы заполняется на 85—90% объема.

Обычно отношение материала (М), мелющих тел (Ш) и воды (В) — М : Ш : В составляет 1 : (1,2—1,8) : 1. При помоле фарфоровой глазури кремниевыми шарами это соотношение равно 1 : 1,5 : (0,9—1), а керамических красок в фарфоровых барабанах вместимостью 10 л — 1 : (1—1,2) : 0,5. Вместо воды при помоле красок может быть использован в том же количестве скипидар.

Порядок загрузки шаровой мельницы: сначала загружают мелющие тела (по массе), заливают воду через водомер и фильтр (сетка № 028—567 или № 045—252 отв/см² с прокладкой из войлока или стекляной ваты), далее загружают предварительно измельченный кварц, бой политых изделий и трошковскую глину (если она вводится в массу). Для предупреждения осаждения кварца при случайной остановке мельницы вводят 5—7% глины или 1—2% бентонита. После 2,5—3 ч помола в барабан догружают полевой шпат или пегматит и утельный черепок и перемалывают содержимое мельницы еще 4—5 ч.

При загрузке мельницы вводят поправку на влажность материала и на отклонения его состава, так как расчет загрузки дается с учетом сухой массы и определенного состава сырьевых материалов. При влажности материала $W$, %, и массе материала по рецепту $P$, кг, фактическая загрузка (с поправкой на влажность) составит (кг)

$$M = P \cdot 100/(100 - W) .$$

Если по рецепту в массу необходимо вводить 35% пегматита, содержащего 74% полевого шпата и 26% кварца, а содержание этих компонентов в имеющемся пегматите составляет соответственно 72 и 28%, то количество полевого шпата, которое необходимо ввести в массу, равно 35·0,74=26%. При содержании в пегматите 72% полевого шпата для ввода 26% шпата необходимо ввести в массу (26·100)/72=36% пегматита. Количество кварца или кварцевого песка должно быть уменьшено на 10% в связи с вводом части его с пегматитом (36—26=10%).

Производительность шаровой мельницы зависит не только от правильности загрузки, но и от частоты вращения барабана и предварительной подготовки размалываемого материала. Так, при загрузке мельницы материалом, измельченным до размера частиц не более 1 мм, и тонкости помола, характеризуемой остатком на сите № 006 (10 000 отв/см²) не более 2%, производительность ее при вместимости барабана 1; 1,2; 1,4; 3,9; 7,2 м³ составит соответственно 110, 120, 130, 300 и 400—500 кг/ч.



Частота вращения барабана шаровой мельницы зависит от его диаметра $D$ и составляет от $36/\sqrt{D}$ до $42{,}5/\sqrt{D}$ об/мин. Частота вращения барабана шаровой мельницы может быть рассчитана также по формуле $n=8/D\ (5\varphi+2)$, где $\varphi$ — коэффициент загрузки (0,45—0,4). Мелющие тела размалывают материал в результате взаимных ударов шаров (97—98%) и частично истиранием (2—3%). При малых оборотах барабана мельницы ($<36/\sqrt{D}$) помол происходит истиранием материала между мелющими телами (рис. 11,*а*). Такой помол малоэффективен, так как при этом изнашивается футеровка. При нормальной частоте вращения барабана мельницы (90—120 м/мин) мелющие тела поддерживаются в верхней части барабана центробежной силой и, падая вниз, дробят материал ударами (рис. 11, *б*). С повышением числа оборотов часть размалываемого материала разбрасывается мелющими телами по всему пространству (рис. 11, *в*). При этом быстро изнашиваются мелющие тела и футеровка. При оборотах, превышающих критические ($>42{,}5/\sqrt{D}$), содержимое мельницы прижимается центробежной силой к стенкам барабана и помол материала прекращается. Частота вращения шаровой мельницы зависит не только от размеров барабана, но и от вида мелющих тел.

Для загрузки в мельницу каменистых материалов, предварительно измельченных до зерен размером не более 2 мм, целесообразно использовать вакуум, а для разгрузки суспензии из мельницы — давление воздуха (0,2—0,3 МПа) или вакуум. Расход воздуха 0,66 м³/мин.

Ускорению размола материала способствует использование высокоглиноземистых (уралитовых) и других высокопрочных мелющих тел. Уралитовые мелющие тела (СТУ 48-28-13) цилиндрической (диаметр 30 мм и высота 35—40 мм) и шаровидной (диаметр 35—40 мм) формы (рис. 12) имеют плотность 3—3,4 г/м³, что увеличивает силу удара и ускоряет помол материала. Твердость их равна примерно 9 по шкале Мооса. Уралитовые

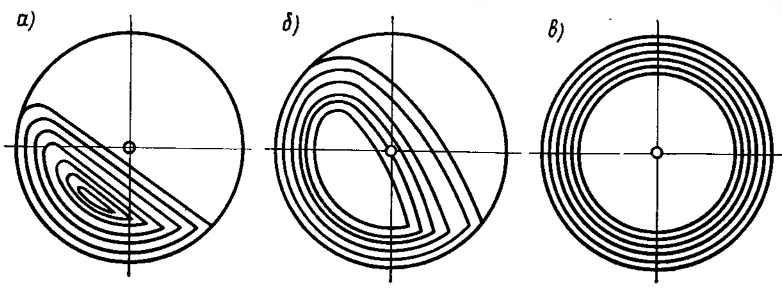



**Рис. 11. Расположение материала и мелющих тел в шаровой мельнице в зависимости от частоты вращения барабана**

*а* — пониженной ($<26/\sqrt{D}$); *б* — нормальной (от $26/\sqrt{D}$ до $42,8/\sqrt{D}$); *в* — критической ($>42,3/\sqrt{D}$)

**Рис. 12. Уралитовые мелющие тела**

мелющие тела изготовляют из спекшейся массы водопоглощением 0,03% следующего состава, %: 30 глины, 62,8 глинозема, 7,2 доломита. Использование уралитовых мелющих тел, особенно цилиндрической формы, имеющих большую суммарную поверхность соприкосновения с размалываемым материалом способствует ускорению размола в 1,5 раза по сравнению с кремниевыми



шарами. Расход электроэнергии сокращается более чем в 2 раза.

Тонкий мокрый помол энергоемок (на него приходится до 60—65% общего расхода электроэнергии на приготовление массы), так как только 15% затрачиваемой энергии совершают полезную работу. Несмотря на значительный удельный расход энергии, а также малый КПД, шаровые мельницы мокрого помола высокопроизводительны (300—400 кг/ч), просты по конструкции и надежны в эксплуатации.

Тонина помола отощающих материалов и плавней определяется остатком на сите № 0056, который обычно составляет для фарфоровой массы 0,5—1%, фаянсовой 2—8%, глазури 0,02—0,05%. Влажность массы в шаровой мельнице 45—50%.

Добавка в шаровую мельницу ПАВ (до 1% по массе) ускоряет помол материала за счет повышения диспергирующего действия воды в микротрещинах материала.

**Сухой тонкий помол.** Этот способ помола каменистых материалов в настоящее время еще не нашел широкого применения в производстве фарфоро-фаянсовых изделий бытового назначения. Однако опыт отдельных фарфоровых заводов, отечественных и зарубежных, подтверждает целесообразность его использования.

Сухой тонкий помол каменистых материалов производят в конических шаровых, ударно-отражательных или струйных мельницах непрерывного действия (рис. 13). Производительность линии тонкого помола каменистых материалов 1,2—1,5 т/ч, расход электроэнергии 65—75 кВт·ч, воздуха около 10 тыс. м$^3$/ч (при давлении 0,51—0,58 МПа) на 1 т измельченного материала.

Помол в струйных мельницах практически сводит к минимуму загрязнение материала и обеспечивает высокую однородность помола (рис. 14) с остроугольной формой частиц. Выход тонких фракций в 2 раза превосходит выход таких же фракций при помоле в мельницах других конструкций. Производительность установки примерно 30 т/ч. Хорошо зарекомендовали себя в работе струйные мельницы СМЖ-30 и др.

Расход электроэнергии, потребляемой струйными мельницами, почти в 10 раз больше, чем при пользовании шаровыми мельницами. Однако они обеспечивают выход около 60% частиц размером <10 мкм, чего нельзя достигнуть в шаровых мельницах.

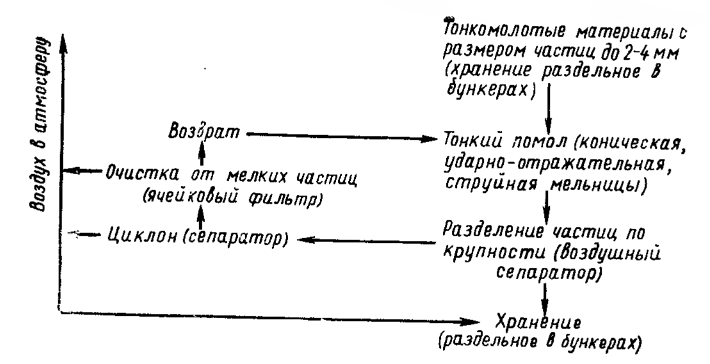



**Рис. 13. Сухой тонкий помол каменистых материалов**

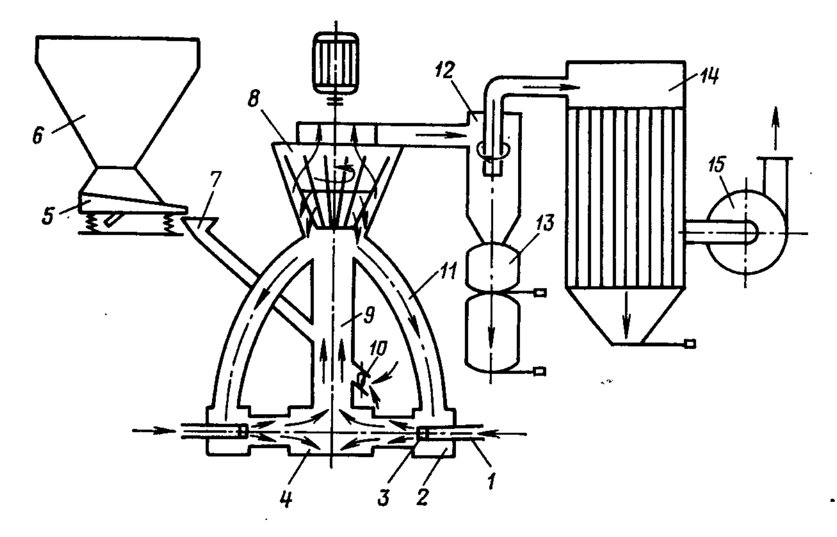



**Рис. 14. Принципиальная схема помольной установки со струйной мельницей**

*1* — воздухопровод; *2* — приемник; *3* — эжекторы; *4* — помольная камера; *5* — лотковый питатель; *6* — бункер; *7* — труба; *8* — сепаратор; *9* — центральная труба; *10* — отверстия центральной трубы; *11* — труба возврата крупных частиц; *12* — циклон; *13* — бункер тонких частиц; *14* — фильтр; *15* — вентилятор

**Подготовка глинистых материалов.** Последовательность операций при роспуске глинистых материалов (каолина, глины, бентонита) приведена на рис. 15. Роспуск глинистых материалов, перемешивание тонкомолотых каменистых материалов с распущенными в воде глинистыми материалами, а также поддержание шликеров, масс и глазурей во взвешенном состоянии осуществ-



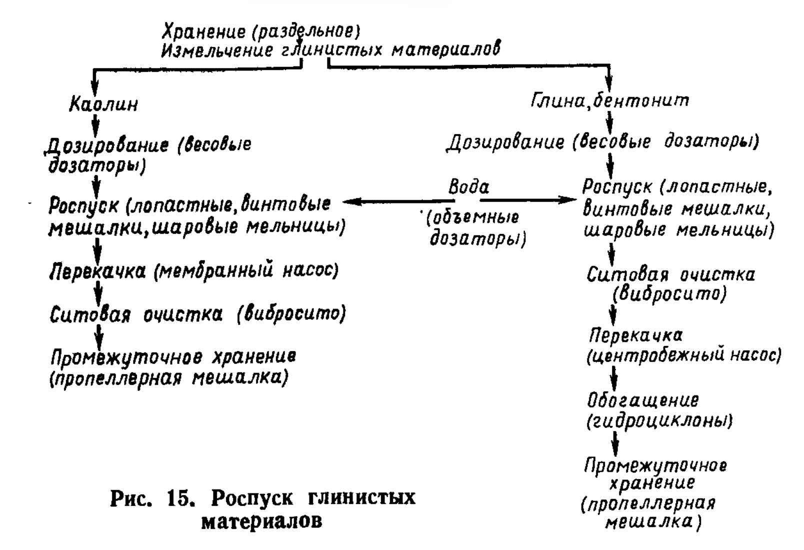



**Рис. 15. Роспуск глинистых материалов**

ляют в емкостях (мешалках), оборудованных винтовым смесителем пропеллерного типа. Реже роспуск глинистых материалов производят в горизонтальных или вертикальных лопастных мешалках, маятниковых, планетарных и др.

Мешалка загружается водой до 75% объема. Влажность суспензии каолина 55—60%, глин 70—78%. Длительность роспуска каолина 3—4 ч в зимнее время и 2—3 ч в летнее, глины — соответственно 5—6 и 3—4 ч. Расход электроэнергии на роспуск 1 т каолина до 15 кВт·ч, воды 1,2—1,3 м$^3$, глины — соответственно 60 кВт·ч и 2,4 м$^3$. При наличии гидроциклонов суспензию глины разбавляют дополнительно водой до влажности 85%, доведя общий расход воды на 1 т глины до 4,7—4,8 м$^3$. Использование ПАВ ускоряет роспуск глинистых материалов на 30—40% и снижает влажность суспензии на 6—8%.

Лопастные мешалки просты по устройству, однако они занимают много места, непроизводительны, металлоемки, тихоходны, имеют большую массу. В настоящее время их повсеместно заменяют пропеллерными мешалками.

При роспуске глинистых материалов в шаровых мельницах воду добавляют, доводя влажность суспензии для фарфора 55—60%, фаянса 65—70%, что обеспечи-

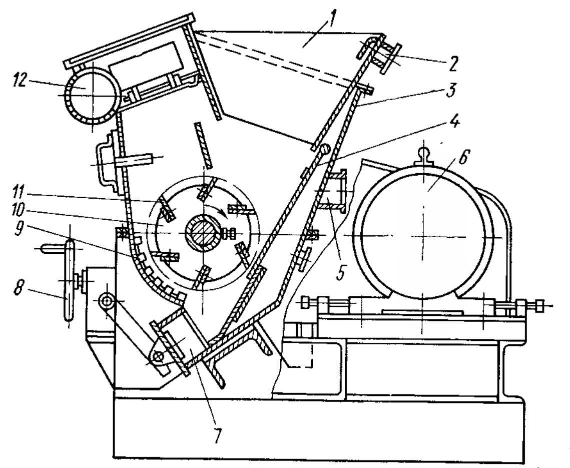



**Рис. 16. Схема машины ФММ-10М**

*1* — загрузочная воронка; *2*, *5* — трубопроводы подачи электролитов; *3* — корпус машины; *4* — подпружинениая плита; *6* — электродвигатель; *7* — кармаи для недробильных кусков (отходов); *8* — штурвал люка кармаиа; *9* — ребристая плита; *10* — ротор; *11* — била ротора; *12* — коллектор слива готовой суспензии

вает роспуск глинистых материалов до размера частиц 3—10 мкм. Продолжительность роспуска составляет от 40—50 мин до 1,5—2,5 ч при М : Ш : В, равном 1 : 0,5 : 1,5. Готовность глинистой суспензии определяют, пропуская ее без остатка через вибросито с латунной сеткой № 01 (3460 отв/см²). Суспензию сливают в пропеллерную мешалку для промежуточного хранения через вибросито № 01 (3460 отв/см²). Далее глинистая суспензия из мешалки промежуточного хранения подается мембранным насосом в смесительный бассейн (с мешалкой) для смешивания с другими компонентами массы.

Экономичность роспуска глинистых компонентов массы может быть повышена при использовании жидкоструйных мельниц или струйных дезинтеграторов. Использование жидкоструйных мельниц в 2—3 раза снижает расход электроэнергии, позволяет уменьшить производственные площади, превратить роспуск глинистых материалов в непрерывный процесс, что не только снизит трудоемкость, но и даст возможность включить их в автоматизированный поток технологических операций.

Из существующих установок для непрерывного роспуска глины лучшие показатели по производительности и энергозатратам имеют фрезерно-метательная мельница ФММ-10М и роторная мельница конструкции А. С. Сладкова. Благодаря двум циркуляционным емкостям и цикличной работе мельницы ФММ-10М суспензия выдается практически непрерывно. Схема машины типа ФММ-10М



приведена на рис. 16. При непрерывном роспуске глинистых материалов длительность, трудоемкость роспуска и влажность суспензии снижаются, расход электроэнергии сокращается в 1,5—2 раза.

В зарубежной практике все большее применение находят дисковые быстроходные мешалки непрерывного действия, обеспечивающие роспуск комовых глин за 10—30 мин при влажности суспензии 40—50%. Частота вращения вала с диском составляет 600—900 об/мин. Внедряются в производство также быстроходные мешалки с рециркуляцией шликера центробежными турбинными насосами, футерованными резиной. Для роспуска глинистых материалов используют и струйные центробежные диспергаторы. При частоте вращения диска диспергатора до 1800 об/мин роспуск глинистых материалов происходит почти в 30 раз быстрее, чем роспуск их в мешалках других типов.

**Сортировка и обогащение материалов.** Из-за несовершенства помольного оборудования, не обеспечивающего получение продуктов помола с заданным гранулометрическим составом, а также наличия примесей в сырьевых материалах, применяют различные способы сортировки и обогащения сырьевых материалов, масс и глазурей.

Сортировка материалов необходима для отделения более крупных частиц исходного или предварительно обработанного материала, случайно попавших посторонних включений, разделения материала на фракции по гранулометрическому составу.

Обогащением сырьевых материалов, масс и глазурей удаляют нежелательные примеси и в первую очередь красящие.

*Механическая* сортировка (грохочение) осуществляется машинами и устройствами, оборудованными ситами, решетками и колосниками, в которых материал делится на фракции, а примеси удаляются. Устройства с листовыми решетками (со штампованными отверстиями) используют для просева материала после среднего и мелкого помола, устройства с ситами из проволоки — для сортировки среднего, мелкого и тонкого материала как в жидкотекучем состоянии, так и в сухом.

Грохоты вибрационные инерционные с круговым качанием используют для отделения посторонних примесей от сыпучих материалов, а также для просвета материалов

после среднего и мелкого дробления. Грохоты вибрационные инерционные применяют для просева как очень мелких, так и крупных материалов.

Скорость передвижения сухого материала по сетке грохота зависит от типа и угла наклона грохота и равна обычно 0,05—0,25 м/с. Окружная скорость сита-бурата 0,7—1 м/с. КПД обычных грохотов 60—70%, вибрационных — до 90—98%.

При процеживании суспензий и шликеров наклонным горизонтальным ситам на пружинящих опорах (грохотам) сообщают от 300 до 500 колебаний в минуту при эксцентриситете вала (амплитуда колебания) 5—25 мм.

Инерционные грохоты используют для просева или процеживания суспензий тонкомолотых масс и глазурей. Пропуск суспензии через сито № 0071 (6400 отв/см²) способствует частичному удалению из массы железистых включений и слюды. Более высокую очистку суспензии получают при пропуске через сито № 0056 (10 085 отв/см²).

В промышленности широко применяют сита СМ-487А и СМ-487Б конструкции Харьковского ЦКБ Госстроя УССР. Производительность сита СМ-487А № 02 (918 отв/ /см²) 2 т/ч при влажности шликера 32%. Конструкция сита предусматривает самоочистку, что является большим преимуществом. На фарфоровых и фаянсовых заводах также используют сита K/Vs (ГДР), фирм «Боултон» (Англия) с магнитным сепаратором и др.

Воздушная сепарация служит для очистки сухих материалов с размером частиц меньше 0,1 мм. Она основана на разделении частиц по крупности в связи с разной скоростью выпадания их из воздушного потока из-за разницы в массе. К оборудованию для воздушной сепарации относятся циклоны, фильтры и электрофильтры.

Поскольку на заводах основные технологические процессы выполняются мокрым способом, то применение циклонов и фильтров ограничено. Их используют лишь для улавливания пыли в дробильных отделениях, в цехах приготовления огнеупорного припаса и гипсовых форм и др. Циклоны очищают воздух и топочные газы от пыли на 70—90%, матерчатые фильтры — 97—99%, электрофильтры — 97—99,5%.

Сепараторы проходного типа могут применяться в установках, работающих по замкнутому циклу, для сортировки по крупности продуктов тонкого помола и удаления их из помольной камеры. Воздушная сепарация экономична, так как расход электроэнергии на 1 т сепарированного материала всего 0,4—0,5 кВт·ч. Сепараторы надежны в работе и высокопроизводительны, особенно при отделении фракций, проходящих через сито № 006 (10 000 отв/см²).

*Гидравлическая* классификация широко используется на обогатительных комбинатах для обогащения каолинов и песков, и реже непосредственно на технологических линиях заводов для очистки глинистых материалов от крупных песчаных фракций.

Для разделения тонких глинистых фракций 0,5—0,01 мм и менее наиболее эффективны гидроциклоны, для промывки песка — гидромеханические классификаторы и сотрясательные столы. При промывке на сотрясательных столах из песка как более тяжелые удаляются частицы, содержащие примеси оксидов железа. Кроме того, происходит отмыв глинистых частиц, также содержащих красящие оксиды.

*Магнитная* сепарация сухих материалов осуществляется на электромагнитных шкивах, электромагнитных барабанах, дисковых электромагнитных сепараторах и сепараторах высокого напряжения.

Электромагнитные шкивы СМ-63 и другие применяют для сепарации сухих материалов с размером частиц больше 5 мм. С повышением тонины помола трудность удаления железистых включений возрастает. Для магнитного обогащения тонкозернистых порошков целесообразно применять сепараторы с вибратором, так как при вибрировании тонкого слоя порошка в магнитном поле облегчается удаление железистых включений.

Основные типы сепараторов для магнитной очистки сухих предварительно измельченных материалов (размер зерна 0,05—3 мм при влажности не более 1%) с сильным магнитным полем — индукционные роликовые ЭРС-1, барабанные с крестовидным магнитом СЭ-171, СЭ-167А и СЭ-190 и дисковые МСЛ-3. В промышленности получили распространение шкивной сепаратор СМ-63, индукционные роликовые одно- и двухступенчатые сепараторы с высокой напряженностью магнитного поля, что позволяет снизить содержание железа в полевом шпате в 5—7 раз. Сухая магнитная сепарация, например пегматита, при однократном пропуске через маг-

нитный сепаратор типа СМ-2 на 0,15—0,2% снижается содержание оксидов железа, а в промытом песке — в 2 раза. Оставшийся $Fe_2O_3$ после магнитной сепарации представлен магнитными минералами (биотитом, мусковитом и др.), находящимися в виде прослоек в каолините, полевом шпате или кварце. Для более полного удаления железосодержащих минералов необходима напряженность магнитного поля около 1,6 МА/м.

Подвесные электромагниты ЭП-1, ЭП-2 закрепляют над конвейерными лентами на высоте 120—130 мм для улавливания включений железа из материала, перемещающегося на конвейере. Толщина слоя материала на ленте не должна превышать 100 мм для мощных сепараторов и быть до 30 мм для сепараторов облегченного типа.

Магнитная сепарация жидких керамических масс и глазурей осуществляется с помощью стальных (постоянных) магнитов, уложенных на дне лотков для транспортирования суспензий, переносных электромагнитов с каскадным расположением на дне лотка, а также электромагнитных сепараторов с сетчатыми полюсами. Магнитная очистка тонкомолотых материалов в жидкотекучем состоянии является последним этапом обогащения масс и глазурей.

Для магнитной сепарации суспеизий и шликеров широко используют ферромагнитные сепараторы типа 600-5, СЭС-240, СМ-488, постоянные магнитные сепараторы ФОЛ-5, магнитные плиты типа ЭП-255 и ЭП-31Г, переносные электромагниты с гребенчатыми полюсами ЭМ-1 и ЭМ-2 и с выдвижными полюсами типа ЭМ-3 и др. Производительность сепараторов 4—6 $м^3/ч$, потребляемая мощность 0,5—0,8 кВт. При трехкратном пропуске суспензии через магнитный сепаратор ФОЛ-5 извлекается до 80% свободного железа. Производительность сепаратора около 6 $м^3/ч$.

Магнитный сепаратор «Вимс» (ФРГ) работает с автоматически регулируемыми циклами очистки, частота срабатывания 10—15 циклов в минуту. Каждый цикл включает три стадии: захват и отделение частиц минералов с магнитными свойствами на профилированных плитах в магнитном поле; очистка отдельных минералов пульсирующей струей воды; удаление магнитных минералов с профилированных плит при снижении интенсивности магнитного поля и одновременном усилении струи



воды. При потреблении энергии до 0,05 кВт·ч, силе тока 65 А и напряженности магнитного поля 80 кА/м возможно снижение содержания $Fe_2O_3$ в каолине до 0,15—0,2%. Для магнитной очистки суспензий и глазурей при сливе в сборники широко используют гребенчатые переносные магниты, магнитные плиты, устанавливаемые в лотках перемещения суспензии.

*Вопросы для самопроверки*

1. **Охарактеризуйте особенности мокрого тонкого помола материалов.**
2. **Каким способом повышают размолоспособность каменистых материалов?**
3. **Какое влияиие оказывает на свойства керамической массы и изделий тонкий помол сырьевых материалов?**
4. **Как интенсифицируют помол сырьевых материалов в шаровой мельнице?**
5. **Как осуществляют роспуск глинистых материалов?**
6. **Назначение сортировки и способы обогащения порошков и суспензий.**

# ГЛАВА 4. ПРИГОТОВЛЕНИЕ ТОНКОКЕРАМИЧЕСКИХ МАСС

## 1. Приготовление пластичной массы

В керамическом производстве используют массы, приготовленные различными способами: пластичные для формования изделий; текучие в виде водного шликера для литья изделий; порошкообразные для прессования изделий; на парафиновой основе для отливки изделий под давлением.

**Составы масс.** В производстве фарфоровых, фаянсовых и других изделий хозяйственного назначения применяют керамические массы, состоящие из многих компонентов, что создает лучшие условия для придания им необходимых свойств, хотя и усложняет их приготовление (рис. 17). Переход на малокомпонентные массы возможен при использовании сырьевых материалов с заданными свойствами или при применении методов автоматической корректировки массы по составу при ее централизованном приготовлении.

3 Зак. 334

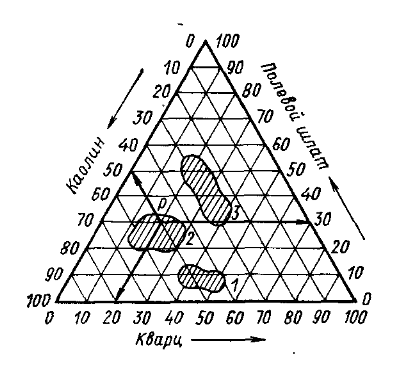



**Рис. 17. Диаграмма размещения составов**

*1* — полевошпатового фаянса; *2* — твердого фарфора; *3* — мягкого фарфора; *P* — точка, соответствующая составу фарфора: 50% глинистых материалов, 20% кварца, 30% полевого шпата

Шихтовые составы масс зависят от качества и свойств исходных сырьевых материалов, вида изделий и технологических особенностей производства (табл. 1).

Таблица 1. **ШИХТОВЫЕ СОСТАВЫ МАСС**

| Масса для | Материалы, % | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | глинистые | кварцевые | полевошпатовые | доломит или мел | глинозем технический | костяная мука |
| Фарфора: | | | | | | |
| твердого | 43—65 | 27—40 | 19—25 | — | — | — |
| мягкого (костяного) | 20—45 | 9—12 | 18—42 | — | — | 20—60 |
| низкотемпературного (из низкоспекающихся масс) | 41—46 | 18—30 | 45—52 | — | 4—6 | — |
| Полуфарфора | 41—56 | 24—50 | 9—12 | — | — | — |
| Фаянса: | | | | | | |
| твердого | 50—63 | 32—45 | 3—9 | — | — | — |
| известкового | 35—55 | 30—46 | 1—2 | 5—20 | — | — |
| глинистого | 80—85 | 15—20 | — | — | — | — |
| Тонкокаменных изделий | 36—43 | 26—45 | 6—24 | 1—2 | — | — |
| Майолики | 32—44 | 28—42 | — | 15—30 | — | — |

Поскольку основными оксидами являются $SiO_2$, $Al_2O_3$, $K_2O$ и $Na_2O$, то химические составы масс находятся в трехкомпонентных системах:

$$SiO_2 — Al_2O_3 — K_2O \text{ и } SiO_2 — Al_2O_3 — Na_2O.$$

Состав и свойства изделий определяются главным образом соотношением $SiO_2$ и $Al_2O_3$ и плавней. Изменение



количества $K_2O$ и $Na_2O$, а также замена одного другим не приводят к существенным изменениям состава черепка и свойств изделий. В массе твердого фарфора на 1 моль щелочных и щелочноземельных оксидов приходится 3—5 молей $Al_2O_3$ и 15—21 молей $SiO_2$, в массе мягкого фарфора соответственно 1,8—3 и 10—23.

Важной качественной характеристикой тонкокерамических масс является коэффициент кислотности *КК*, определяемый как отношение эквивалентов кислот к эквивалентам оснований, считая по молекулярной формуле (формуле Зегера):

$$KK = RO_2/(RO_2 + RO + 3R_2O_3) .$$

Коэффициент кислотности для масс твердого фарфора находится в пределах 1,1—1,3; для мягкого 1,63—1,75; хозяйственного 1,26—1,65; фаянса 1,4—1,5; майолики 1,4—1,45, изменяясь в широком диапазоне (но не более 2) для масс изделий других видов. С повышением коэффициента кислотности увеличивается хрупкость керамики и возрастает способность ее к деформации при обжиге, повышается просвечиваемость, снижается термостойкость изделий.

Отношение $R_2O_3 : (R_2O+RO)$ также характеризует устойчивость масс в обжиге. Для фарфора оно равно 2—5. Чем больше это отношение, тем устойчивее массы в обжиге.

**Расчет массы.** Химический состав массы рассчитывают по химическому составу сырья, а шихты — по ее рациональному или химическому составу. Зная химический состав сырья и молекулярную формулу черепка, также можно рассчитать материальный состав массы для этого изделия.

Для твердого фарфора молекулярная формула имеет вид:

$$(0,18 — 0,2) RO \cdot Al_2O_3 \cdot (3,5 — 4) \cdot SiO_2 .$$

Для мягкого фарфора молекулярная формула характеризуется увеличенным содержанием оснований и имеет вид

$$(0,3 — 0,4) RO \cdot Al_2O_3 \cdot (5,5 — 6)\ SiO_2 ,$$

где RO — основания.

Если количество всех основных оксидов $(R_2O+RO)$ привести к единице, то молекулярная формула твердого фарфора примет вид:

$$1RO \cdot 5Al_2O_3 \cdot (17,5 — 20)\ SiO_2 .$$

3* Зак. 334

Чтобы вычислить молекулярное соотношение оксидов, необходимо количество каждого оксида в процентах разделить на его относительную молекулярную массу.

Если необходимо один из компонентов массы заменить другим, то при выполнении расчетов исходят из того, что рациональный состав массы не должен изменяться. Сначала расчитывают рациональный состав компонентов, а затем рациональный состав массы, по которому определяют шихтовый состав масс. Зная рациональные составы сырьевых материалов и массы (табл. 2) рассчитывают шихтовый состав, например фарфоровой массы, по следующей методике.

Таблица 2. **РАЦИОНАЛЬНЫЕ СОСТАВЫ СЫРЬЯ И МАССЫ**

| Сырье | Рациональный состав, % | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | сырья | | | | массы | | | |
| | каолинит | полевой шпат | кварц | неучтенные минералы | каолинит | полевой шпат | кварц | неучтенные минералы |
| Глина огнеупорная | 71 | 19,6 | 5,3 | 4,1 | 5,68 | 1,57 | 0,42 | 0,33 |
| Каолин обогащенный | 91,2 | 4,3 | 0,8 | 3,7 | 36,48 | 1,72 | 0,32 | 1,48 |
| Пегматит | 1,44 | 75,45 | 22,24 | 0,87 | 0,37 | 19,62 | 5,78 | 0,23 |
| Кварцевый песок | — | — | 99,3 | 0,7 | — | — | 25,82 | 0,18 |
| Итого | 100 | — | — | — | 42,53 | 22,91 | 32,34 | 42,22 |

По технологическим соображениям, в связи с необходимостью получения массы достаточной пластичности и формуемости, прочности полуфабриката, получения изделий с заданными свойствами заранее задают содержание каолина в массе (например, 40%). Далее определяют содержание компонентов, вводимых с каолином в массу (табл. 3).

По разности содержания каолинита в массе и каолине определяют содержание каолинита, вводимого с другими компонентами:

$$42{,}53 - 36{,}48 = 6{,}05 \text{ ч. по массе.}$$



Таблица 3. **РАСЧЕТ КОМПОНЕНТОВ МАССЫ, ВВОДИМЫХ С СЫРЬЕВЫМИ МАТЕРИАЛАМИ**

| Компонент | Количество ч. по массе, вводимых с | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | компонентом | огнеупорной глиной | пегматитом | кварцевым песком | Всего |
| Каолинит | 91,2·40 : : 100=36,48 | 71,0·8 : : 100=5,68 | 1,44·26 : : 100=0,37 | — | 42,53 |
| Полевой шпат | 4,3·40 : : 100=1,72 | 19,6·8 : : 100=1,57 | 22,91— —3,29= =19,62 | — | 22,91 |
| Кварцевый песок | 0,8·40 : : 100=0,32 | 5,3·8 : 100= =0,42 | 22,24·26 : : 100=5,78 | 32,34— 6,2=26,14 | 32,52 |
| Примеси | 3,7·40 : : 100=1,48 | 2,1·8 : 100= =0,33 | 0,87·26 : : 100=0,23 | 26 | 2,04 |

Необходимое количество глины в массе составит:

$$6{,}05 \cdot 100 : 71 = 8{,}52 \text{ ч. по массе } (\approx 8).$$

В состав массы фарфора необходимо ввести полевого шпата:

$$22{,}91 - 3{,}29 = 19{,}62 \text{ ч. по массе}.$$

Количество полевого шпата определяют из расчета $19{,}62 \cdot 100 : 75{,}45 = 26$ ч. по массе. Полевой шпат вводят в массу в составе пегматита (см. табл. 2). Недостающее количество кварцевого песка вводится из расчета:

$$32{,}34 - (0{,}42 + 5{,}78) = 26{,}14\%.$$

Таким образом (округляя расчетные данные), шихтовой состав массы фарфора будет следующим, % : каолина — 40, глины огнеупорной — 8, пегматита — 26, кварца — 26.

**Влияние составных частей массы на свойства изделий.** *Каолин* в керамической массе обеспечивает белизну изделий, повышает термостойкость, прочность и химическую стойкость изделий, но затрудняет получение плотного черепка. Его вводят в массу в сыром или обожженном виде. Посредством каолина в фарфоровую массу вводится требуемое количество $Al_2O_3$ (до 35%).

Глины беложгущиеся — основные пластифицирующие составляющие массы, обеспечивающие требуемые формовочные свойства, механическую прочность полу-

фабриката в высушенном, а также обожженном состоянии, термическую стойкость изделий, но снижающие их белизну. Глины вводят в фарфоровые массы в количестве 4—18%. В фаянсовых массах содержание глинистых материалов возрастает до 55% (в твердом фаянсе) и 85% (в глинистом фаянсе).

Глины в массах могут заменяться *бентонитом*, вводимым в количестве до 6%. При этом 1% бентонита заменяет до 5% глины, так как его связующая способность в 2—2,5 раза выше. Присутствие бентонита в фаянсовых массах повышает прочность высушениого полуфабриката на 30—40%. Однако в бентоните больше оксидов железа, что требует его обогащения гидроциклонным способом. Это сдерживает повсеместное использование бентонитов в керамических массах.

В массе, используемой в автоматизированном производстве, содержание глины должно быть минимальным для уменьшения возможности деформации и растрескивания изделий в процессе скоростной тепловой обработки и в то же время достаточным для придания полуфабрикату необходимой прочности.

*Кремнеземистую составляющую* — кварц жильный, кварцевый песок — вводят в массу для регулирования структурно-механических и технологических свойств и получения изделий с заранее заданными свойствами.

Широкое использование кварцевых материалов в керамических массах объясняется особой ролью, которую выполняет кварц в формировании черепка изделий. Являясь кислым оксидом, кварц при высоких температурах обжига активно взаимодействует с другими компонентами массы, обеспечивая синтез минералов, определяющих свойства черепка (муллита и др.). Кварц выступает в качестве компонента, образующего жесткий каркас (скелет) в структуре черепка.

Растворяясь в полевошпатовом расплаве, кварц повышает его просвечиваемость, вязкость и прочность черепка, понижает КТР фарфора и способствует сопротивлению изделий деформации при обжиге, улучшает разлив глазури. Нерастворившийся в полевошпатовом расплаве кварц может стать причиной внутренних напряжений в черепке, снижающих прочность и термическую устойчивость изделий.

Полиморфные превращения свободного кварца, сопровождающиеся изменением объема, должны учитываться при выборе режима обжига изделий. Вредное влияние полиморфных превращений кварца снижают предварительным обжигом, а также тонким измельчением (до частиц размером <25 мкм). Лучших результатов достигают при использовании кварцевых отходов (песка), получаемых при обогащении каолинов.

*Полевошпатовая составляющая* в массах, как и кремнеземистая, действует как отощающая добавка, а при обжиге — как плавень, обеспечивая развитие жидкой фазы в процессах формирования черепка изделий. Ортоклаз плавится медленно, распадаясь при 1170° С на лейцит и вязкое стекло, богатое кремнеземом, по реакции

$$K_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 6SiO_2 \xrightarrow{1170^\circ C} K_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 4SiO_2 + 2SiO_2 .$$

Он дает густоплавкое стекло и наиболее пригоден в качестве плавня.

Повышенная вязкость расплава $10^6$ Пз при 1300° С калиевых полевых шпатов (ортоклаза, микроклина) снижает возможность деформации изделий при обжиге. Полевошпатовый расплав заметно растворяет кварц и другие компоненты массы при 1200° С и выше. С повышением температуры интенсивность растворения повышается. Расплав калиевого полевого шпата способствует кристаллизации новых кристаллических фаз — муллита $3Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$, увеличению интервала спекания, повышению белизны, прочности, просвечиваемости и термостойкости изделий, чем выгодно отличается от натриевого полевого шпата. Калиевый полевой шпат вводят в керамические массы хозяйственного фарфора в количестве 15—30%, полуфарфора — 25—35; низкотемпературного фарфора 15—35; высоковольтного — 32—45%.

Натриевые полевые шпаты растворяют кварц лучше, чем калиевые, но вязкость их расплава меньше.

*Перлит и липарит*, введенные в массу, улучшают физико-механические свойства черепка, понижают температуру обжига, делают изделия более термостойкими, повышают сопротивляемость деформации при обжиге, интенсифицируют процесс обжига.

*Щелочноземельные оксиды* (MgO, CaO, SrO, BaO) в керамических массах усиливают процесс кристобаллизации. Эти оксиды по кристобаллизирующей способности располагаются в ряд $MgO > CaO > SrO > BaO$. Повышение в массах содержания CaO сужает интервал спекания при обжиге, снижает эксплуатационные показатели из-

делий за счет повышения хрупкости, снижения химической стойкости изделий. Оксид бария повышает механическую прочность, просвечиваемость и химическую стойкость. Он может вводиться в массы хозяйственного фарфора в количестве 2—3%, так как вызывает пузырение черепка и повышает КТР.

*Глинозем технический* (корунд) улучшает эксплуатационные свойства изделий в первую очередь за счет повышения концентрации $Al^{3+}$ в полевошпатовом расплаве и более полного протекания процесса муллитизации при увеличении в расплаве фазы муллита. Муллит и отвердевший при охлаждении расплав, обогащенный глиноземом и кремнеземом, повышают модуль упругости и механическую прочность, термостойкость, плотность, вязкость расплава и микротвердость стеклофазы, белизну фарфора.

Вводят его в массы высоковольтного и специального фарфора в количестве 2—12% в тонкоизмельченном (2—4 мкм) виде, а также в массу изделий, обжигаемых по скоростному режиму. Корунд снижает КТР и просвечиваемость фарфора.

В массу изделий, обжигаемых по скоростному режиму, рекомендуется вводить 3,5—4,5% корунда для повышения вязкости расплава в процессе обжига изделий, при этом одновременно снижают содержание в массе боя изделий.

*Каолин обожженный,* введенный в массу, производит действие, аналогичное техническому глинозему.

*Диоксид циркония* $ZrO_2$ и *циркон* $ZrO_2 \cdot SiO_2$ повышают механическую прочность, термостойкость, микротвердость, химическую стойкость и электрическую прочность изделия, понижают вязкость расплава. Вводят эти добавки в массы высоковольтного и химически стойкого фарфора в количестве до 20%.

*Тальк* $3MgO \cdot 4SiO_2 \cdot H_2O$ способствует лучшей муллитизации черепка и повышает его прочность особенно при ударе и изгибе, снижает температуру уплотнения черепка на 30—35° С и возможность образования цека на фаянсе, повышает термостойкость изделий за счет образования при обжиге кордиерита $2MgO \cdot 2Al_2O_3 \times \times 5SiO_2$, обладающего низким КТР — $(1—3) \cdot 10^{-6}$ 1/°С (при 55—600° С). В зависимости от вида изделий содержание талька в массе высоковольтного и хозяйственного фарфора доводят до 2, в специальных массах — до 40%.



*Диоксид титана* $TiO_2$, введенный в количестве 1% (сверх 100%) в тонкокерамические массы, изготовленные из глин, содержащих повышенное количество сульфатов, понижает их склонность к вспучиванию при обжиге и улучшает свойства готового изделия. При температуре около 1320° С двуоксид титана способствует более активному растворению первичного муллита в расплаве и кристаллизации вторичного муллита с одновременным понижением температуры обжига изделий и сужением интервала спекания. Заметное повышение механической прочности отмечается при вводе 2—4% $TiO_2$ в тонкокаменные массы.

*Оксид цинка* ZnO, вводимый в массу в количестве 2%, действует как сильный минерализатор, способствует снижению температуры обжига, улучшению структуры фарфора и повышению механической прочности изделий.

**Приготовление массы** предусматривает разрушение начальной структуры сырьевых материалов путем их измельчения (каменистые) и диспергирования при распускании в воде (глинистые); составление новой дисперсной системы — массы из нескольких компонентов; создание структуры массы путем смешения, тонкого помола, обогащения, обезвоживания, переминаний, вакуумирования.

В производстве фарфоровых и фаянсовых изделий энергоемкость подготовки пластичной массы составляет до 30% всей энергии, расходуемой на технологические цели, а потребность в рабочей силе для выполнения этих работ не более 3% (95—97% изделий изготовляется способом пластического формования).

Технологические схемы подготовки массы имеют много общего: мокрый (шликерный) способ подготовки, однотипность используемого оборудования, последовательность выполняемых операций. Подготовка массы осуществляется путем совместного помола и смешивания в шаровой мельнице всех компонентов массы или путем раздельного помола — каменистых материалов в шаровых мельницах и роспуска глинистых в мешалках или шаровых мельницах с последующим смешиванием всех компонентов массы в мешалках пропеллерного типа. При совместном помоле повышается однородность

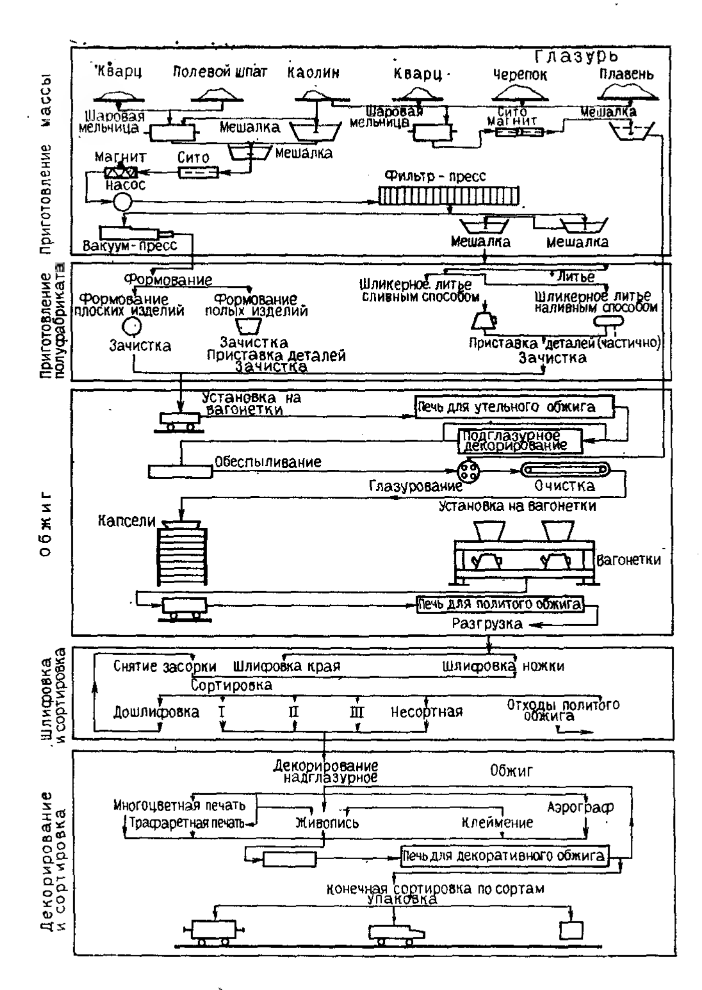



**Рис. 18. Принципиальная схема производства посуды**

массы, однако длительность помола увеличивается на 30—35% по сравнению с раздельным помолом компонентов массы. На фарфоро-фаянсовых заводах подготовку многокомпонентной массы обычно осуществляют раздельным помолом каменистых материалов и роспуском глинистых (рис. 18).

Тонкому помолу материалов предшествует дозирование компонентов массы по объему (вода) и по массе (твердые компоиенты).



Глинистые материалы распускают в виитовых мешалках. Порядок загрузки следующий. Мешалка заполняется водой, подогретой до 45—50° С. Одновременно включается подача пара в паропровод мешалки (особенно в зимнее время). При заполнении водой половины или $^3/_4$ емкости резервуара подают глинистые материалы, предварительно измельченные на глинорезных машинах (стругачах) или валковых дробилках до величины кусков не более 20 мм в поперечнике. Обогащенный каолин предварительной подготовки не требует.

Ниже приводятся примеры расчета (по А. И. Августинику) загрузки каолина и глины для распускания в мешалке с полезной емкостью 13 м³.

*Пример 1.* Влажность каолина на складе 8%, плотность каолина 2,55 г/см³, заданная влажиость суспензии в емкости 60%. Требуется определить количество воды, подлежащей заливке в емкость мешалки, и массу загружаемого на роспуск каолина.

В 100 кг суспензии будет содержаться 60 кг воды и 40 кг сухого каолина, что по объему равно 40 : 2,55+60=75,7 л.

В резервуаре мешалки полезной вместимостью 13 м³ должно содержаться (40·13 000) : 76,7=7000 кг сухого каолина и 8% воды, т. е. 560 кг, всего 7560 кг. Воды потребуется (13 000·60) : 75,7= =10 000 кг. С учетом воды, поступившей вместе с каолином (560 кг), необходимо залить в емкость еще 9440 л. Для расчета массы на 1 м³ вместимости мешалки делят массы каолина и воды (7560 кг и 9440 л) на емкость мешалки 13 м³, получая соответственно 582 кг каолина и 725 л воды. Таким образом, на 1 т каолина надо залить 9440 : 7560=1,25 т воды.

*Пример 2.* Влажность глины на складе 18%, необходимо получить суспензию влажностью 75%. Методика расчета та же, т. е. 25 : 2,55+75=85 л (25·13 000)·5·85=3830 кг сухой глины и (75·13 000)·5·85=11 500 л воды. С учетом 18% воды, поступающей с глиной, что составляет 690 л, надо загрузить в емкость 3830+ +690=4520 кг глины и залить еще 11 500—690=10 810 л воды.

В 1 м³ емкости загружается 348 кг глины и 830 л воды для получения суспензии влажностью 75%. На 1 т глины надо залить 10 810 : 4520=2,4 т воды.

Суспензию глинистых направляют в расходную емкость (мешалку) или разбавляют водой до влажности 85% и подают насосами на гидроциклонное обогащение.

При *раздельном* помоле в шаровую мельницу в определенных количествах подают воду, загружают все кварцевые материалы, 5—7% глиинистых (или бентонит в количестве 1—2%, если его вводят в массу), политый черепок, а также ПАВ (сульфитно-спиртовую барду) в количестве 1%. Помол продолжается 2,5—3 ч. Затем в мельницу загружают полевой шпат и утельный

черепок и размалывают их в течение 4—5 ч. Соотношение М : Ш : В = 1 : (1,2—1,8) : 1. Мельница заполняется на 85—90% объема.

Режим работы шаровой мельницы при раздельном помоле компонентов массы приведен в табл. 4.

Таблица 4. **РЕЖИМ РАБОТЫ ШАРОВОЙ МЕЛЬНИЦЫ ПРИ РАЗДЕЛЬНОМ ПОМОЛЕ КОМПОНЕНТОВ МАССЫ**

| Процесс | Продолжительность цикла работы шаровой мельницы, ч | | | |
|---|---|---|---|---|
| | ТМР-19 (ГДР) | | ТМР-24 (ГДР) | |
| | с уралитом | с кремневой галькой | с уралитом | с кремневой галькой |
| Помол | 11 | 13 | 12 | 14 |
| Загрузка | 9 | 11 | 10 | 12 |
| Выгрузка с помощью сжатого воздуха или насоса | 0,3 | 0,3 | 0,5 | 0,5 |
| Слив суспензии самотеком | 1 | 1 | 1 | 1 |
| Взятие проб | 0,3 | 0,3 | 0,3 | 0,3 |

Сливают суспензию массы из шаровой мельницы в сборную мешалку при помощи сжатого воздуха, пропуская ее через сито № 02.

При *совместном* помоле сырьевых материалов роспуск глинистых осуществляют одновременно с помолом каменистых материалов в шаровых мельницах. При этом сначала загружают каменистые материалы, бой изделий и глину (около 5%) или весь бентонит (если его вводят в массу), а затем после 8,5—10,5 ч помола остальные глинистые материалы (каолин и глину) и электролиты — соду и жидкое стекло. Продолжительность совместного помола около 2—3 ч.

Добавление глинистых материалов при первой загрузке шаровой мельницы необходимо для того, чтобы предотвратить осаждение более крупных непластичных компонентов и удержать их между мелющими телами для улучшения размалывания.

Соблюдение оптимальных режимов работы шаровой мельницы улучшает ее использование, однако КПД ее остается низким — около 15%, так как только тысячный удар шара приводит к разрушению частиц мате-



риала. Приготовление 1 т фарфоровой массы (в пересчете на сухое вещество) на технологической линии с шаровыми мельницами вместимостью 8,2 м³ требует электроэнергии 32—35 кВт·ч, воды 1,7—1,9 м³, сжатого воздуха 0,5—0,8 м³. Для снижения затрат на тонкий помол создаются шаровые мельницы с полезной вместимостью 32 м³ (фирма «Дорст», ФРГ), что увеличивает единовременную загрузку материала до 16 т.

Контроль качества помола материалов в шаровой мельнице осуществляют ситовым анализом. Тонина помола в шаровых мельницах должна быть такой, чтобы остаток на сите № 0056 (10085 отв/см²) был 0,5—1% для фарфоровых масс и 2—8% для фаянсовых. Влажность суспензии 55—60%. Температура суспензии фарфоровой массы в сборной мешалке 25—30, фаянсовой — 40—45° С.

Независимо от способа тонкого помола суспензию массы, перемешанную в сборной мешалке, пропускают через вибросито № 01 (с латунной сеткой 3460 отв/см²) и постоянные ферромагниты.

Транспортирование суспензий осуществляется принудительно насосами и реже самотеком по лоткам. Для принудительного транспортирования суспензий масс и глазурей используют насосы — мембранные, поршневые и винтовые (героторные). Наиболее распространены мембраниые насосы, способные перекачивать суспензии влажностью 40—70% и работать при давлении до 2,5 МПа. Конструктивно насосы выполняются двухцилиндровыми и реже одноцилиндровыми.

Создавая рабочее давление до 2—2,5 МПа, они обеспечивают получение из фильтр-прессов массы влажностью 21—22%. Насосы типа 2МС-7,5/16 и 2МС-7,1/20 имеют по два поршня разного диаметра, работающих попеременно. При достижении давления 1 МПа большой поршень отключается. Малый поршень, продолжая работать, создает давление до 2 МПа. Преимуществом насосов является отсутствие контакта работающего поршня с перекачиваемой массой, что исключает загрязнение ее металлом в результате износа деталей.

Другая разновидность указанных насосов — одно- и двухпоршневой насос с фарфоровым плунжером. Работа насоса регулируется автоматически — по мере увеличения давления уменьшаются число ходов и подача суспензии, а одновременно и величина ее пульсации.

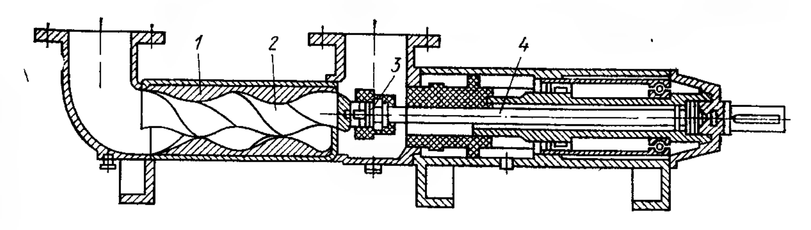



**Рис. 19. Героторный насос**

*1* — статор; *2* — ротор; *3* — уплотняющая резиновая муфта; *4* — карданный вал

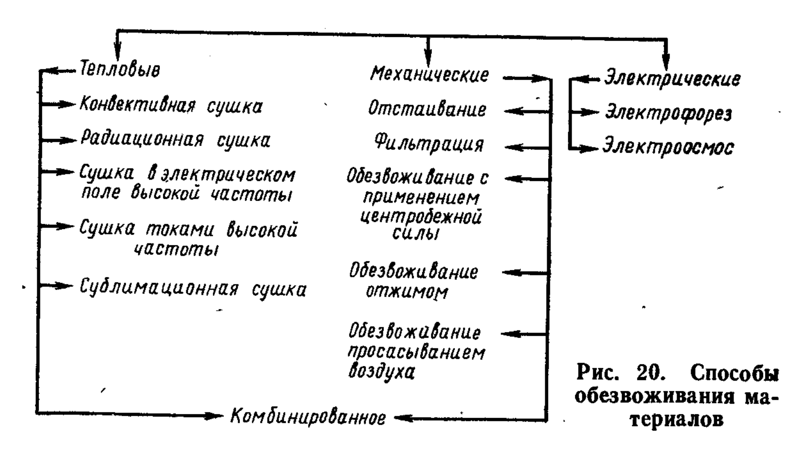



**Рис. 20. Способы обезвоживания материалов**

Производительность насосов до 10 м³/ч при рабочем давлении до 2,5 МПа.

В последние годы освоены мононасосы (героторные насосы) производительностью до 200 м³/ч при рабочем давлении 1—2,5 МПа. Насосы фирмы «Нетчш» (ФРГ) типа НЕ100 и НЕ80 имеют эластичный статор в металлическом корпусе и стальной ротор (рис. 19). Статор футерован резиной в виде двухзаходной резьбы с высоким шагом и большого профиля. Ротор — однозаходный винт с половиной шага статора. При вращении ротора подающие полости между внутренней поверхностью статора и ротором непрерывно смещаются аксиально со стороны всасывания в сторону нагнетания, не изменяясь по форме и объему. Глубина всасывания суспензии достигает 8 м. Конструктивно насосы выполняют одно-, двух- и четырехступенчатыми с рабочим давлением соответственно 0,6; 1,2 и 2,4 МПа.

Героторные насосы целесообразно использовать для



перекачивания суспензий и заполнения фильтр-прессов при невысоких давлениях.

**Обезвоживание суспензий.** Для получения пластичной массы суспензия частично обезвоживается с 55—60 до 20—25%-ной влажности. Известно несколько способов обезвоживания материалов, которые можно разделить на три основные группы (рис. 20).

Расход энергии при обезвоживании суспензии механическими способами 0,001—0,002, электрическими 0,1—0,2, тепловыми 0,85—1,2 кВт·ч на 1 кг удаленной влаги.

В производстве фарфоровых и фаянсовых изделий бытового назначения основной способ обезвоживания масс — фильтр-прессный, на заводах централизованного приготовления массы, как и на заводах строительной керамики — сушка в распылительных сушилках.

По конструкции различают фильтр-прессы камерные и рамные. Для обезвоживания керамических суспензий наиболее распространены камерные фильтр-прессы.

Обезвоживание суспензии на фильтр-прессах основано на отделении твердых частиц пористыми матерчатыми перегородками, пропускающими воду и задерживающими твердые частицы.

Суспензия массы, подаваемая в фильтр-пресс по центральному каналу, заполняет замкнутые полости между рам, обтянутых тканью. Вода из суспензии проникает через полотно и стекает по радиальным каналам вниз к сквозному отверстию в ободе каждой рамы, собираясь в водоотстойнике под фильтр-прессом. Твердые частицы оседают на поверхности ткани в виде пластов (коржей) и удаляются из пресса при раздвижке рам после окончания процесса обезвоживания.

Скорость фильтрации жидкого потока в пористом теле пропорциональна давлению и длине капилляров (закон Дарси). На скорость фильтрации оказывают влияние свойства суспензии, форма зерен, их величина и распределение. В начальной стадии образования коржа слой отложившейся на полотне массы весьма тонок и давление фильтрации, действуя на него, будет максимальным за весь период наполнения суспензией фильтр-пресса. Давление распространяется ступенчато по толщине коржа и на участке выхода фильтрата (ретурной воды) приближается к нулю.

Полнота обезвоживания суспензии зависит от по-

верхностного натяжения фильтрационной жидкости, разности давлений, краевого угла смачивания между твердым веществом и жидкостью, среднего радиуса пор, плотности упаковки и расположения частиц в корже.

Чем больше в суспензии тонких частиц, тем медленнее фильтрация. Поэтому скорость фильтрации фаянсовых суспензий с большим содержанием глинистых материалов в 2—3 раза ниже, чем скорость фильтрации фарфоровых суспензий.

Давление фильтрации колеблется от 0,8 до 1,8 МПа. С повышением давления уменьшается влажность коржа, повышаются его плотность, однородность и прочность. Давление должно увеличиваться непрерывно, без толчков и перебоев. Продолжительность заполнения фильтр-прессов фарфоровой массой 1,5—2 ч, фаянсовой 2,5—4 ч. Добавление в суспензию 2—4% боя изделий (сверх 100%) увеличивает скорость фильтрации.

При повышении скорости фильтрации без увеличения давления возрастает влажность, снижается однородность и плотность массы. Производительность фильтр-пресса может быть повышена на 15—20% в результате подогрева суспензии до 35—45° С (вязкость воды при температуре 20° С равна 1 Па·с, при 55° С— 0,3 Па·с). Добавление 0,25%-ной уксусной или муравьиной кислоты в суспензию также способствует ускорению фильтрации. Ускоряют фильтрацию полиакрилаты и полиакриламиды, успешно используемые, например, при обезвоживании каолиновых суспензий при мокром обогащении каолина.

Продолжительность фильтрации возрастает пропорционально квадрату толщины коржа. Одновременно увеличивается его остаточная влажность. Величина pH суспензии также влияет на скорость фильтрации. При малых значениях pH возможна флокуляция суспензии, которая облегчает фильтрацию. С повышением плотности шликера и содержания глинистой составляющей скорость фильтрации заметно снижается.

Толщина отложившегося слоя массы возрастает пропорционально объему ретурных вод, так как скорость фильтрации обратно пропорциональна объему фильтрата или толщине осадка массы, осевшей на фильтр-прессной ткани, и составляет 0,02—0,035 $м^3/м^2 \cdot ч$, а съем массы с 1 $м^2$ фильтрующей поверхности 10—12 кг/ч.

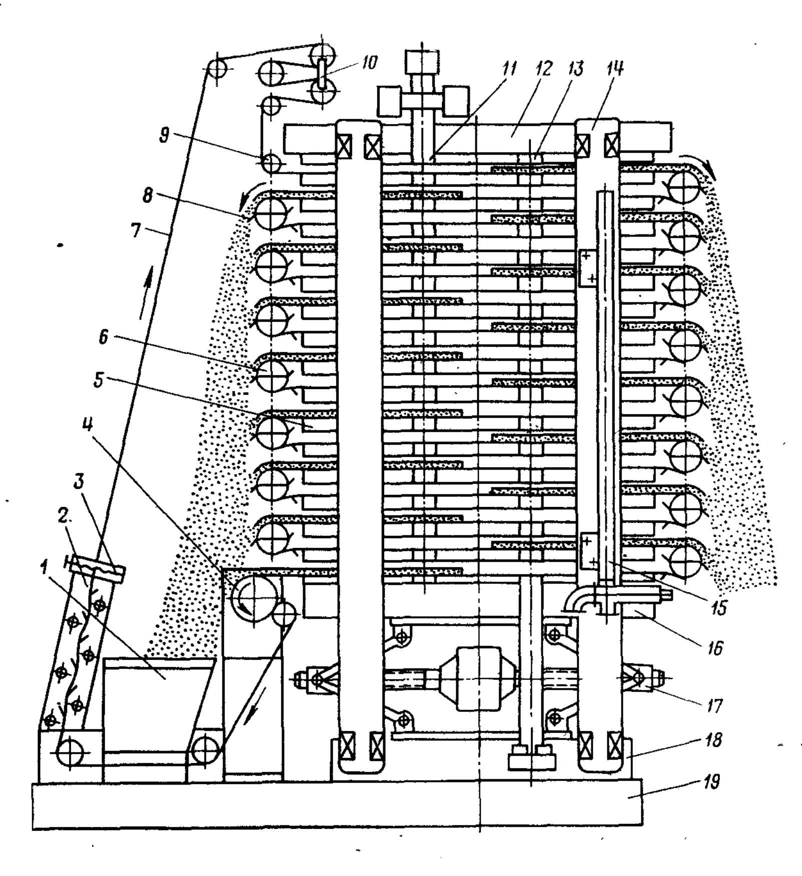


Толщина коржа, при которой прекращается процесс фильтрации, составляет для фарфоровых масс — около 25, фаянсовых — до 35, для каолина — до 50 мм. Масса коржа толщиной 30 мм из рамы размером 1000×1000 мм равна 42 кг.

Обезвоживание суспензий на фильтр-прессах связано с образованием дефектов структуры в плотных коржах, так как во время фильтрации вода быстрее отделяется от отощающих материалов, с которыми она слабо связана, чем от глинистых материалов. В результате масса частично расслаивается, особенно в фильтр-прессах с диаметром рам более 800 мм. Снизу и в середине коржа оседает больше отощающих материалов, а ближе к поверхности больше глинистых. В результате содержание фракций с величиной частиц меньше 10 мкм в отдельных точках коржа колеблется от 31 до 80%. Обогащенные глинистой фракцией участки массы, поступающей в дальнейшем на вакуумирование, способствуют неравномерной усадке при сушке, достигающей в различных направлениях 30—60%, снижают прочность при изломе полуфабриката на 15—20%, что в свою очередь снижает качество изделий.

Расход фильтр-прессного полотна 1,25—1,5 $м^2/т$ сухой фарфоровой массы и примерно 1,7 $м^2$ фаянсовой, медного купороса — 0,2 кг и аммиака для промывки и обработки фильтр-прессных полотен 0,04 кг. Расход электроэнергии 23—30 кВт·ч/т сухой массы. Срок службы фильтр-прессного полотна бельтинга около 3 мес. работы или от 60—80 до 200—270 циклов, капронового или нейлонового — 900 и более циклов. Для улучшения фильтрации полотна через 50—60 циклов промывают. Стоимость 1 т массы, полученной из фильтр-пресса с капроновым фильтрующим полотном, на 30—50% ниже стоимости массы, полученной на прессе с фильтрующим полотном бельтинг.

Срок службы фильтровальных тканей удлиняют противогнилостной пропиткой: сначала полотно выдерживают в горячем 60—70° С содовом растворе в течение 3 ч и в аммиачном растворе медного купороса, после чего промывают холодной водой и высушивают. Хорошо пропитанное полотно имеет равномерную синевато-зеленоватую окраску. Наличие желтых и белых пятен свидетельствует о неравномерной пропитке. Состав содового раствора для пропитки полотна: горячая вода — 200,




Вис. 21. Схема фильтр-пресса ФПАКМ

кальцинированная сода 8,5 кг. Аммиачный раствор медного купороса имеет следующий состав: горячая вода — 170 л, кальцинированная сода — 2 кг, медный купорос — 3,9 кг, 25%-ный раствор аммиака — 13 л. Расход каждого раствора 190—200 л на 100 м² обрабатываемого полотна. Для удлинения срока службы фильтровальной ткани под верхнее полотно, покрывающее щиты фильтр-пресса, подкладывают второе полотно из ткани более грубой фактуры или отремонтированные старые полотна.

Основные недостатки фильтр-прессов: периодичность работы, низкая производительность (до 0,14 кг/с),



большая масса (около 20 т) и большие габариты (около 9 м²).

За последние годы конструкция фильтр-прессов была улучшена. В Укрниихиммаше, например, создан автоматический камерный фильтр-пресс ФПАКМ непрерывного действия (рис. 21).

Основными рабочими элементами фильтр-пресса являются фильтрующие плиты *5* (количество плит может быть 6 и 12 в зависимости от типа пресса), расположенные между опорными плитами *12* — верхней и *16* — нижней. Механизм зажима плит *17* располагается под нижней плитой. Он обеспечивает зажим плит в течение 30—60 с. Фильтровальная ткань *7* общей длиной 17—50 и шириной 0,7—1,2 м зигзагообразно проходит между фильтрующими плитами, огибая ролики *6*. Общая поверхность фильтрации 2,5—2,6 м². Натяжение ленты осуществляется натяжным приспособлением *10*, установленным на верхней плите, а ее направление — роликами *9*. Фильтровальная ткань, пройдя привод передвижки ткани, приводимый в действие электродвигателем, поступает на очистку и мойку (регенерацию) в камеру *2*, оборудованную скребками и форсунками. Фиксированное положеиие ткани по отношению к плитам обеспечивается направляющим устройством *3*. Продолжительность замены ткани 15—30 мин.

При сжатых плитах суспензия поступает по трубопроводу под давлением до 1,5 МПа в коллекторы подачи *11* и *13*, на выходе которых установлен автоматически открывающийся клапан. Привод передвижки ткани, камера регенерации и опорная плита *18* установлены на общей раме *19*. После заполнения пресса суспензией твердая часть массы остается в виде тонкого слоя (продолжительность образования слоя 1,5 мин) на фильтровальной ткани, а фильтрат, пройдя через ткань и перфорированное сито, поступает в коллектор *15*. Давление отжима диафрагмы до 1,2 МПа. Разгрузка осадка производится после прекращения подачи суспензии и раскрытия фильтр-пресса. Фильтровальная ткань, приведенная в движение приводом передвижки ткани, выносит слой массы толщиной до 35 мм на обе стороны фильтр-пресса, где он снимается скребками *8* и поступает на ленточные конвейеры *1*, расположенные по сторонам фильтр-пресса. Схема работы фильтрующих плит приведена на рис. 22. Плита состоит из корпуса *2* и

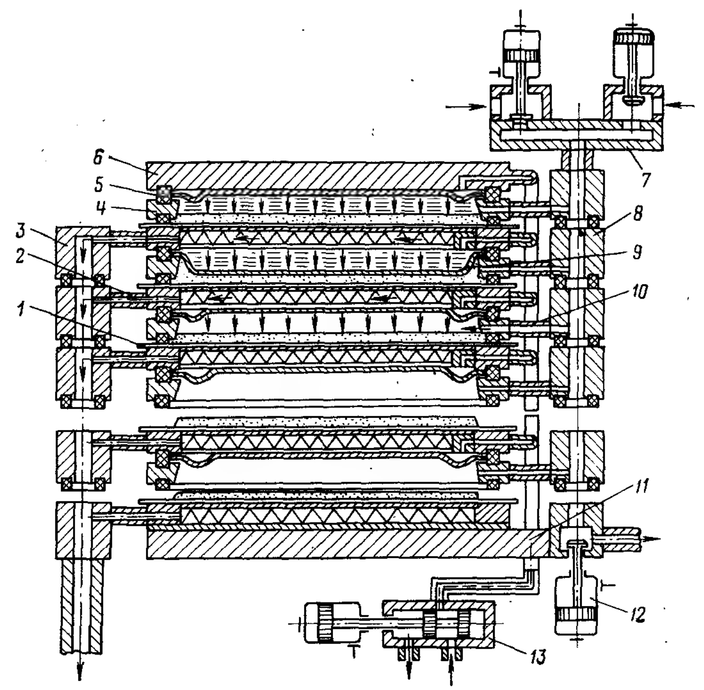



**Рис. 22. Схема фильтрующих плит и распределительных устройств ФПАКМ**

рамки *4*. В корпусе собирается фильтрат. Корпус имеет днище и дренажное основание *9* в виде вкладышей из перфорированного листа. В рамке формируется осадок. Между корпусом и рамкой находится выпуклая резиновая диафрагма *5*, предназначенная для отжима осадка. В рабочем состоянии пресса плиты сжаты между верхней упорной плитой *6* и нижней нажимной плитой *11*. При подаче суспензии фильтрат проходит через ткань *1* и перфорированное сито в камеры фильтрата и далее в коллектор отвода *3*. Осадок массы отжимается резиновыми диафрагмами, на которые подается вода насосной станцией через коллектор подачи *8*, а слив воды из диафрагмированных камер производится обратным путем через коллектор давления *10*. Регулируется гидравлика фильтр-пресса блоком клапанов *7*, клапаном сброса *12* и клапаном коллектора давления *13*. Общая мощность установленных электродвигателей 63—126 кВт.



Управление прессом ФПАКМ автоматизировано. Пресс ФПАКМ целесообразно располагать в линии попарно с двумя конвейерами по сторонам. Производительность такой линии 1,5 т/ч (по сухой массе). При использовании пресса ФПАКМ можно изменять толщину слоя массы и снижать ее влажность до 19—20%.

Из пяти имеющихся типоразмеров фильтр-прессов наиболее применим фильтр-пресс с поверхностью фильтрования 25 м², 16 фильтрующими плитами, электродвигателем мощностью 35 кВт, массой 14,28 т. Давление фильтрования 1,5 МПа, давление отжима диафрагмы 1,2 МПа. Расход электроэнергии на 1 т сухой массы составляет примерно 70 кВт·ч, фильтровальной ткани— 0,6—0,72 м². Съем массы с 1 м² фильтровальной ткани за 1 ч 40—70 кг (по сухой массе). Однородность массы выше, чем при обезвоживании на обычных фильтр-прессах.

Для обезвоживания суспензий на заводах широко используют фильтр-прессы народного предприятия «Тюрингия» (ГДР) типа K/VP 500 (с диаметром рам 500 мм) и K/FPRV 800 (с диаметром рам 800 мм), полуавтоматический пресс LFAK (ЧССР), фильтр-прессы фирм «Нетчш» и «Дорст» (ФРГ). Фирмой «Боултон» (Англия) разработан фильтр-пресс, рассчитанный на рабочее давление 7 МПа. Его производительность больше, чем применяемых в настоящее время фильтр-прессов с рабочим давлением до 2,4 МПа. В США предложена конструкция электрического фильтр-пресса, в котором процесс обезвоживания шликера сокращен с 2—3 ч до 10—13 мин, а влажность гомогенной фарфоровой массы 12—18%. Фильтр-пресс состоит из комплекта щитов, сдвигаемых стопорным устройством. В стенках щитов имеются вертикальные канавки, оканчивающиеся у дна камер водосливными отверстиями. Внутри каждой камеры вдоль противоположных щитов непосредственно к канавкам примыкают два электрода. К электродам прилегает пористое полотно, образующее внутри камеры мешок для шликера. Электроды оканчиваются плоскими лепестками для присоединения к клеммам сети постоянного тока. Для электроизоляции щиты покрывают слоем эпоксидной смолы либо устанавливают между щитами изоляционную корзинку. Фильтр-прессное полотно изготовлено из нейлона или стекловолокна. Щиты выполнены из железа, электроды

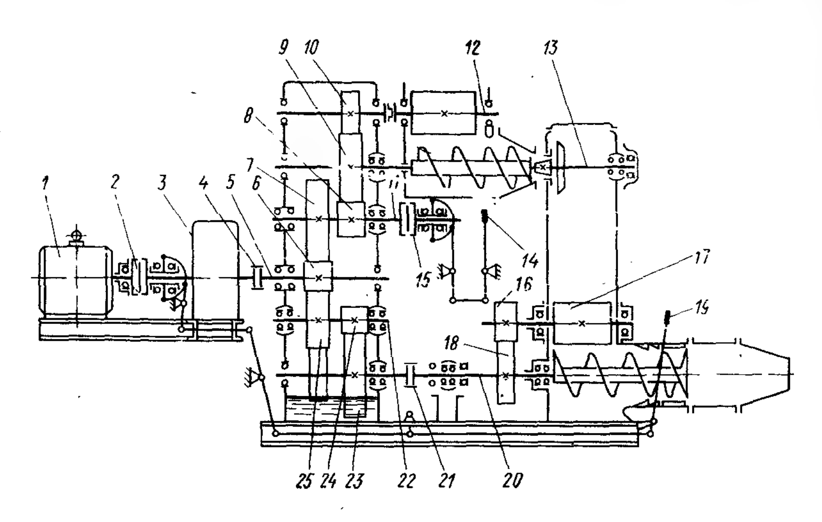



**Рис. 23. Вакуумная массомялка СМ-241А**

*1* — электродвигатель; *2* — муфта фрикционная; *3* — редуктор; *4* — муфта зубчатая; *5* — приводной вал; *6, 7, 8, 9, 10, 16, 18, 23, 24, 25* — шестерни; *11* — вал промежуточный; *12* — вал питающего валка; *13* — вал подавателя; *14* — рычаг включения фрикционной муфты; *15* — фрикционная муфта подавателя; *17* — нагнетательный валок; *19* — рычаг включения фрикционной муфты приводного вала; *20* — вал шнековый; *21* — зубчатая муфта; *22* — вал промежуточный

в виде пластин или сетки из алюминия, меди, а также из нержавеющей стали, что наиболее предпочтительно. Керамический шликер нагнетается в камеры фильтр-пресса до тех пор, пока рабочее давление в камерах не достигнет 12,6—17,5 МПа, а затем включается ток с таким расчетом, чтобы электрический потенциал составлял 0,62—2,33 В на 1 см² коржа в зависимости от размера, числа щитов и электропроводности керамического материала. Процесс продолжается до получения массы требуемой влажности.

**Вакуумирование массы.** Для повышения однородности пластичной массы ее подвергают переработке на вакуумных массомялках типа Д-275, СМ-241А, имеющих непрерывный лопастной (шнековый) винт (рис. 23). Производительность вакуум-мялки Д-275 — 2,5 т/ч, СМ-241А — 8 т/ч.

Вакуумирование массы необходимо из-за того, что при тонком помоле каменистых материалов, роспуске глинистых и первичной переработке масса обогащается воздухом. Независимо от способа формования изделий воздух снижает формовочные свойства массы. Воздух,



адсорбированный поверхностью глинистых частиц в виде полимолекулярных слоев, удерживаемых ван-дер-ваальсовыми силами, замедляет смачивание их водой, препятствует равномерному уплотнению массы, способствует повышению упругих деформаций при пластическом формовании, образуя расслоения, а также микротрещины, выявляемые при сушке и обжиге изделий. Заполняя поры, воздух также препятствует проникновению в них влаги, разъединяет частицы массы, действуя как отощитель. Для фарфоровых изделий, изготовленных из плохо вакуумированной массы, характерно повышенное содержание открытых пор 0,5—1,5%, что снижает их просвечиваемость. Объем воздуха в свежеприготовленной массе составляет 5—15%, после вакуумирования он снижается до 0,3—0,4%. В хорошо вакуумированной массе частицы ее уложены наиболее плотно: промежутки между крупными частицами заполнены более тонкими частицами каменистых материалов, а также глинистыми частицами.

Вакуумирование способствует повышению пластичности и улучшению на 2—3% формовочных свойств массы при меньшем количестве пластичной глины, что повышает белизну изделий. Формовочная влажность вакуумированной массы меньше, чем невакуумированной (табл. 5).

Вакуумирование массы снижает текстурную неоднородность, способствует лучшему уплотнению при формовании, устраняет зыбкость почти в три раза, до 5 МПа повышает механическую прочность сырца, вследствие чего уменьшается бой и брак в производстве, снижает водопоглощение готовых изделий, повышает просвечиваемость и механическую прочность изделий, а также их химическую стойкость и диэлектрические показатели. Вакуумированная масса имеет меньшую усадку, температура обжига изделий на 20—30° С ниже, чем изделий из невакуумированной массы, менее склонна к деформации при обжиге, а также обеспечивает получение изделий заданных размеров. Оптимальное разрежение при вакуумировании большинства тонкокерамических масс составляет 96—102 кПа.

Эффективность вакуумирования массы определяется ее составом, пластичностью, влажностью, температурой и продолжительностью пребывания в вакуумной камере.

Таблица 5. ВЛИЯНИЕ ВАКУУМИРОВАНИЯ НА СВОЙСТВА ФАРФОРОВЫХ МАСС И ИЗДЕЛИЙ

| Показатель | Масса | |
|---|---|---|
| | вакуумированная | невакуумированная |
| Содержание воздуха, % | 0,3—4,25 | 5,1—9,5 |
| Влажность, % | 20,4—23,5 | 21,6—24,12 |
| Предел прочности при разрыве, кПа | 17,4—37,7 | 11—33,4 |
| Усадка, %, при обжиге: | | |
| до 920° С | 4,7—7,07 | 4,59—7,21 |
| 1320° С | 5,54—6,41 | 4,51—6,68 |
| Водопоглощение после обжига, % | 0,08—0,15 | 0,14—0,21 |
| Предел прочности изделий при изломе; МПа: | | |
| высушенных при 110° С | 2,0—4,7 | 0,9—3 |
| обожженных при 900° С | 3,4—4,9 | 1,5—4 |
| обожженных при 1320° С | 61,8—69,5 | 59,9—69,8 |

В работе вакуум-мялок наблюдаются многие специфические особенности, присущие обычным вакуум-прессам. Образование дефектов в заготовках (рис. 24) объясняется тем, что частицы глинистой составляющей имеют пластинчатую форму и при механическом воздействии на массу шнеком вакуум-мялки облегчают создание ориентированной структуры в заготовке, образуют плоскости скольжения с ослабленным сцеплением массы в этих местах, придавая ей анизотропию свойств. В результате заготовки, полученные на ленточном вакуум-прессе, имеют тем больше ориентированную структуру, чем выше пластичность массы. Установлено, что дефекты в заготовках из фарфоровой массы максимально ориентированы по периферии — вблизи стенок мундштука, уменьшаясь по мере приближения к центру заготовки. Каждый тип вакуум-пресса создает структуру с характерными квазиизотропными кольцами (рис. 25). При резко выраженной ориентации частиц заготовки могут иметь свилеватую структуру, эллиптическую или S-образную, что может привести к растрескиванию изделий при сушке и обжиге.



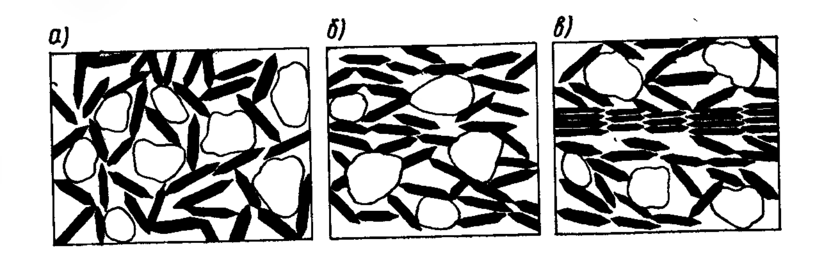



**Рис. 24. Схема образования дефектов структуры**

*а* — первоначальное строение массы; *б* — упорядочение пластинчатых частиц; *в* — образование плоскостей скольжения

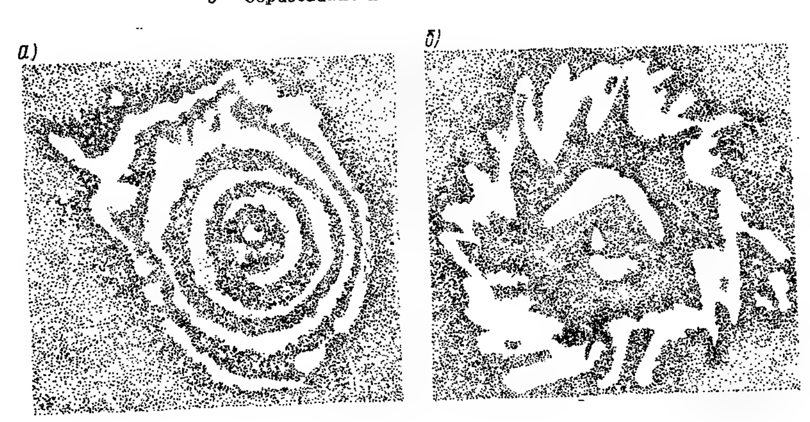



**Рис. 25. Распределение квазиизотропных колец для вакуумных прессов**

*а* — «Кема», РУ-45; *б* — «Дорст»

Текстурные дефекты в массе, созданные шнеком, в значительной мере могут быть сняты в головке и мундштуке пресса при правильном подборе последних. В ленточных прессах давление на массу 0,33—0,8 МПа наблюдается в головке пресса, напряжение бокового давления составляет 0,12—0,3 МПа. Кривая распределения величины давле-

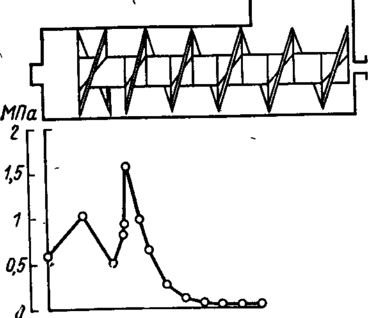



**Рис. 26. Кривая распределения давления по длине шнека**

ния по длине шнека приведена на рис. 26. Наибольшее давление (до 1,5 МПа) наблюдается на участке установки контрножей.

Шнек пресса выполняет три функции: транспортирование, уплотнение и выдавливание массы через головку и мундштук. Длина головки пресса должна быть не менее 66—80% диаметра шнека, а в отдельных случаях она может превышать его в 1,5 раза. Сечение головки пресса должно быть примерно в 1,5—2 раза больше сечения мундштука. Для тощих масс, например шамотных, мундштуки должны быть длиннее, для пластичных масс они могут быть короткими с коническим профилем. У очень коротких мундштуков с отношением $L:D<1,2$ даже при малой конусности на поверхности формовок могут появляться трещины. Цилиндрические формовки из мундштуков с $L:D>1,2$ получаются тем хуже по качеству, чем длиннее мундштук и больше его конусность. Соотношение между сечением мундштука и сечением корпуса пресса, обеспечивающее оптимальное уплотнение массы при наименее выраженных текстурных дефектах, должно быть 1 : 4.

На основную работу пресса — проминку и смешивание массы расходуется до 90% мощности, потребляемой прессом, на формирование заготовки 10%. Нормальное нагревание массы в прессе не должно превышать 4—6° С. Более высокая температура нагрева может вызвать расслоение заготовки.

Для вакуумирования массы на заводах наиболее широко применяют вакуум-прессы одновальные фирмы «КЭМА», двухвальные — типа $K/S_tSV$ предприятия «Тюрингия» (ГДР) и др.

При увеличении диаметра цилиндра пресса производительность пресса увеличивается пропорционально радиусу шнека в кубе при одной и той же частоте вращения. Частота вращения шнека вакуум-прессов регулируется от 0,8 до 0,37 $c^{-1}$. Прессы $K/S_tSV$ 250/1 и $K/S_tSV$ 350/1 имеют три скорости, что позволяет обрабатывать массы любой влажности и получать заготовки необходимых размеров.

**Вылеживание массы** после пропускания ее через глиномялку или вакуум-мялку, хотя и является пассивным процессом подготовки массы, все же способствует частичному распределению влаги, более полной гидратации глинистых частиц и протеканию ионного обмена,



гидролизу зерен полевого шпата, образованию коллоидных $Al(OH)_3$, $Fe(OH)_3$, разложению органических веществ и т. д. В процессе вылеживания достигается более полное развитие гидратных пленок и адсорбированных комплексов вокруг частиц массы и в первую очередь глинистых. В массе завершается процесс диспергирования глинистых частиц и формирование более однородной структуры. Вылеживание массы в темных и теплых помещениях в продолжении 6—10 сут способствует увеличению содержания гумусовых веществ, улучшению формовочных свойств массы, повышению прочности высушеиного полуфабриката на 4—6%, уменьшению деформации при обжиге. Наилучший результат достигается в течение первых суток вылеживания, в последующее время эффективность вылеживания менее значительна. В настоящее время процесс вылеживания массы все чаще заменяется двукратной переработкой на вакуум-мялках с кратковременным в течение 24 ч вылеживанием перед формованием.

Для изделий, изготавливаемых на автоматизированных линиях, используют массы, обеспечивающие полуфабрикату достаточную устойчивость против размокания при глазуровании после сушки и пористость, необходимую для равномерного покрытия глазурью и закрепления ее на поверхности изделий, а также повышенную прочность в подвяленном и высушенном состояниях.

Такие массы должны выдерживать обжиг изделий в щелевых печах со скоростью нагрева и охлаждения 800—830° С/ч. Для этого состав массы корректируют, снижая величину модуля упругости черепка изделий, так как чем меньше модуль упругости стеклофазы в черепке, тем с большей скоростью можно вести нагрев и охлаждение изделий.

Число пластичности массы для автоматизированного производства фарфора, должна быть 10—12%, фаянса 12—18%, а усадка при сушке соответственно 12—14 и 5—10%.

Изделия из таких масс должны иметь водопоглощение для фарфора 0—0,5%, для фаянса 9—12%. Предел прочности при изломе образцов, высушенных при 105—110° С, не ниже 2,5 МПа, обожженных при 1200° С — не ниже 70 МПа, а термостойкость не ниже 8 теплосмен.

Транспортируют массу на формование автокарами, тележками, транспортерами, предохраняя ее от засорения посторонними примесями, пылью и высыхания.

Технический контроль качества массы включает в себя периодическую проверку влажности и пластичности массы. Пластичность как косвенный показатель формовочной способности массы определяют методами, основанными на измерении разности между влажностями, соответствующими нижней границе текучести и пределу раскатывания глинистого теста, а также методами, характеризующими деформационную способность глины (методы П. А. Земятченского, ВНИИФ, А. И. Августиника и др.).

*Вопросы для самопроверки*

1. Охарактеризуйте керамическую массу и ее основные компоненты.
2. Влияние составных частей на свойства керамических масс и изделий.
3. Совместный и раздельный тонкий помол компонентов массы, их особенности.
4. Роспуск глинистых материалов, назначение и последовательность операций.
5. Назначение ситовой и магнитной очистки массы.
6. Краткая характеристика способов обезвоживания суспензии керамической массы, характеристика используемого оборудования.
7. Вакуумирование массы, его назначение и влияние на технологические свойства массы.
8. Вылеживание массы, назначение. Контроль качества массы.

## 2. Приготовление литейной массы (шликеров)

**Свойства шликеров.** Шликером называют устойчивую суспензию, состоящую из тонкодисперсной (твердой), дисперсионной (жидкой) и газообразной фаз. Шликер предназначен для изготовления изделий литьем в гипсовых формах. Он должен удовлетворять следующим требованиям: иметь заданный химический и минералогический состав, обладать необходимой подвижностью (текучестью) при минимальном содержании воды, иметь минимальную загустеваемость, не содержать газовых пузырьков и не вспениваться при отливке; быть устойчивым против расслаивания при длительном хранении; отличаться высокой фильтрующей способностью для быстрого образования стенки изделия на поверхности гипсовой формы; обеспечивать достаточную прочность изделий после отливки и сушки; иметь усадку, необходимую для выемки изделий из формы в максимально короткий срок, без растрескивания.



Твердая часть шликера находится во взвешенном состоянии в жидкой среде. В такой системе связь между частицами осуществляется действием ван-дер-ваальсовых молекулярных сил и сил поверхностных зарядов частиц, действующих через тончайшие пленки воды, покрывающей их поверхность. При этих условиях свойства водных пленок определяют структурно-механические свойства шликеров. От состояния связи воды с частицами твердой фазы и адсорбционных свойств последних зависят такие свойства шликеров, как текучесть, стабильность, водосодержание и др.

Поверхность частиц твердой фазы является электрически активной, способной притягивать, а затем адсорбировать из дисперсионной среды ионы. Глинистая частица проявляет наибольшую активность. Имея отрицательный заряд на своей поверхности, создающий вокруг нее силовое поле, глинистая частица в чистой воде адсорбирует ее молекулы, которые своими положительными сторонами ориентируются в силовом поле по направлению к отрицательному заряду поверхности глинистой частицы. Так образуется мономолекулярный, а затем и полимолекулярный слой ориентированных молекул воды (сольватная оболочка). Эта вода удерживается у поверхности глинистых частиц под воздействием ее электрического поля и называется прочносвязанной водой. В слое толщиной до 5 мкм она не подчиняется законам гидростатики, ее плотность достигает 1,28—1,4 г/см$^3$ (у каолинов 1,065, у глин 1,114 г/см$^3$) ввиду того, что вода находится в сжатом состоянии под давлением до 300 МПа. Теплоемкость прочносвязанной воды составляет всего 29,3 кДж/кг·град, а температура замерзания понижается до —70° С. Прочносвязанная вода не растворяет вводимые в шликер вещества, не обладает электропроводностью.

В реальных условиях в системе глина — вода последняя всегда имеет ионы растворенных солей, катионы которых, имея свои водные оболочки, способны замещать ионы водорода сольватных оболочек глинистых частиц, образуя вокруг последних сорбированный комплекс. Количество сорбированных катионов зависит от природы глин, являясь для каждой глины постоянной величиной, и выражается в миллиграмм-эквивалентах на 100 г

сухой глины (у каолина около 6, огнеупорных глин около 14, бентонитов около 60). По степени активности в процессах обменной адсорбции катионы располагаются в ряд:

$$Zi^{+} > Na^{+} > K^{+} > Mg^{2+} > Ca^{2+} > Al^{3+} .$$

Адсорбированные анионы также удерживаются с различной силой глинистой частицей:

$$OH^{-} > CO_3^{2-} > CH_3COOH^{-} > O_4^{2-} > Cl^{-} .$$

Водные оболочки катионов тем больше, чем меньше радиус катиона (Li — 120, Na — 66, K—16 молекул воды).

По мере удаления от поверхности глинистой частицы влияние ее электрического поля ослабевает, молекулы воды приобретают возможность некоторого перемещения. Так образуется диффузный слой, в котором вода является рыхлосвязанной с глинистой частицей. Чем активнее ионы, тем больше диффузные водные оболочки, тем больше воды поглощают они из шликера. Образовавшиеся водные оболочки вокруг глинистых частиц шликера и их электрический заряд препятствуют слипанию (коагуляции) частиц.

Регулируя толщину водных оболочек, можно, не изменяя влажности, разжижать или коагулировать шликер. Вода, не связанная глинистыми частицами и заполняющая объем между ними, называется свободной — вода разжижения. Она подчиняется законам гидростатики. Таким образом, в шликере будет вода: сольватных оболочек, диффузных оболочек, свободная.

Регулируя соотношение этих форм воды в шликере, воздействуют на его вязкость и другие важнейшие свойства путем добавления электролитов в количестве 0,02—0,5% по сухой массе: растворимое стекло, сода, дубильный экстракт, танин, пирофосфорно-кислый натрий и другие, а также комбинированные.

Влияние электролитов на состояние шликера возможно в трех направлениях. *Стабилизация* суспензии достигается в том случае, когда электролит введен в количестве меньшем, чем требуется для полиого насыщения адсорбционного комплекса, т. е. полного замещения поглощенных катионов на катионы натрня электролита. Происходит дефлокуляция, часть воды, механически захваченной глинистыми агрегатами, высвобождается, количество рыхлосвязанной воды увеличивается,



хотя разжижения еще не наступает. На этом этапе электролиты способствуют стабилизации суспензии.

*Разжижение* шликера наступает при дальнейшем добавлении электролита за счет уменьшения диссоциации поглощенного натрия. Толщина диффузных оболочек уменьшается и часть рыхлосвязанной воды переходит в воду свободную, которая разжижает шликер.

*Загустевание* шликера наступает при дальнейшем увеличении количества электролита в шликере ввиду того, что утонченные водные оболочки не могут препятствовать сближению глинистых частиц. Образующиеся агрегаты захватывают часть свободной воды и вязкость шликера повышается. Каждому электролиту присуща своя точка перегиба на кривой разжижения. При вводе электролита в количествах немного меньших, чем это необходимо для максимального разжижения, шликер приобретает наилучшие технологические свойства.

Приготовленный шликер при выдерживании в спокойном состоянии, загустевает, а при встряхивании или интенсивном перемешивании, а также при вибрации, воздействии ультразвука вновь разжижается (без добавления воды). Такое загустевание называется *тиксотропным упрочнением.* Оно объясняется тем, что количество, например катионов $Ca^{2+}$ и $Mg^{2+}$, не вступивших в соединение с анионами электролитов, накапливается в системе, отбирает часть свободной воды в свои гидратные оболочки, вызывая загустевание шликера. При этом катион $Na^{+}$ со своими сольватными оболочками присоединяется к глинистой частице, способствуя уменьшению ее подвижности.

При увеличении оболочки рыхлосвязанной воды частицы контактируют друг с другом только верхними слоями водных оболочек и шликер загустевает.

Способность глинистой суспензии самопроизвольно восстанавливать нарушенную структуру и упрочняться без изменения влажности является важным свойством шликера. Способность вновь разжижаться указывает на то, что частицы не укрупняются, как при коагуляции, а только слипаются друг с другом.

*Вязкость* шликера должна обеспечить полное заполнение гипсовой формы, давать быстрый набор массы на ее стенках.

Вязкость шликера регулируется соотношением дисперсной и дисперсионной фаз (Т:Ж), характером вводи-

мых добавок, температурой. При увеличении соотношения Т:Ж вязкость шликера растет медленно, а по достижении определенной величины значение ее резко возрастает.

Для обеспечения возможно большего диапазона минимальной вязкости шликера и стабилизации свойств к нему добавляют смесь электролитов — каустическую соду (0,1—0,3%) и жидкое стекло (0,3—0,5%).

*Текучесть* является обратной величиной вязкости. Величину текучести определяют вискозиметром, имеющим сливное отверстие длиной 10 мм с верхним диаметром 8 и нижним 6 мм. Текучесть определяется временем, за которое через отверстие пройдет 100 мл шликера.

Применение электролитов-разжижителей освобождает значительное количество диффузной воды и переводит ее в свободную воду. Это повышает подвижность, текучесть и литейные свойства шликера при пониженной влажности. Высокая разжижающая способность растворимого стекла ($Na_2SiO_3 \cdot H_2O$) также обусловлена еще и образованием коллоидной кремнекислоты вследствие гидролитического распада ее в воде. Коллоидная кремнекислота адсорбируется поверхностью глинистых частиц, а высвобождающаяся при этом значительная часть воды разжижает шликер.

Предел текучести и коэффициент тиксотропии находятся в прямой зависимости от концентрации электролита. Для предела текучести характерен ряд $Zr^{4+} > Al^{3+} > Ca^{2+} > Mg^{2+} > Ba^{2+} > Na^{+}$, для коэффициента тиксотропии — $Na^{+} > Ba^{2+} > Ca^{2+} > Mg^{2+} > Al^{3+} > Zr^{4+}$.

Для сохранения текучести при пониженной влажности, например, фаянсового шликера рекомендуется в качестве разжижителя использовать смесь жидкого стекла, триполифосфата натрия и кремнийорганической жидкости, вводимых соответственно в следующих количествах: 0,035—0,06; 0,065—0,035 и $\leqslant$0,05% сухой массы шликера (в пересчете по массе на $Na_2O$).

Для снижения водосодержания шликера, улучшения процесса гидратации и повышения прочности отливок почти на 30—50% в шликер рекомендуется добавлять 0,1—0,5% раствора КМЦ, ПАВ и др. Ввод добавок (особенно ССБ) может вызвать вспенивание шликера. Пенистые шликеры плохо транспортируются по трубопроводам, удлиняется время набора массы на стенке гипсовой формы, а набранная масса пориста и непрочна. В качестве пеногасителей рекомендуется использовать кремнийорганические полимеры (полиметилсиликон и др.) в небольших количествах — 0,001—0,003% массы сухих компонентов шликера. Пеногасители лучше вводить в шликер до введения ПАВ.



*Дисперсность* частиц, регулируемая режимом работы шаровых мельниц, определяет устойчивость, текучесть шликера и влияет на плотность отливок. Увеличение тонины помола шликера до величины выше оптимальной ухудшает его свойства, так как замедляется набор черепка, увеличивается усадка и склонность к растрескиванию изделий в процессе сушки и др.

*Форма* частиц твердой фазы также оказывает влияние на свойства шликера. Наилучшая упаковка в отливках достигается при сферической форме частиц.

*Реологические* свойства литейного шликера зависят не только от состава и дисперсности твердой фазы и формы твердых частиц, но и от качества жидкой фазы. К жидкой фазе шликера предъявляются следующие требования: отсутствие химического взаимодействия с твердой фазой, нерастворимость в ней твердой фазы, малая вязкость, способность растворять добавки, улучшающие ее свойства и отливку изделий, не содержать примесей, понижающих качество отливки. В керамических шликерах таким требованиям удовлетворяет вода.

От вязкости, плотности, диэлектрической постоянной, дипольного момента молекул воды, характера взаимодействия воды с твердой фазой зависят линейные свойства шликера. Жесткость воды для приготовления шликера не должна превышать 5° (немецких). По возможности лучше использовать конденсат, что обеспечивает большее снижение влажности шликера при сохранении высокой его подвижности.

Вредные примеси, снижающие качество шликера, — растворимые сульфаты, гипс, попадающие в него как с компонентами массы, так и с гипсовых форм (с отходами литейного цеха). Отливки из такого шликера делаются хрупкими и разрушаются при оправке. Отходы литья (около 5% боя и брака при литье и 2% при сушке), которые снова распускают с добавлением жидкого стекла, добавляют в литейный шликер. Это иногда препятствует его разжижению, что объясняется присутствием гипса, несущего ионы кальция и $SO_3^{2-}$, ускоряю-

4(0.5) Зак. 334

щих коагуляцию шликера. Воздух в шликере также оказывает отрицательное влияние на его свойства. В шликере воздух (2—2,5% объема) подразделяется на адсорбированный твердыми частицами, удерживаемый гидрофобными участками твердой фазы (микродисперсный воздух) и механически захваченный при приготовлении шликера и перемешивании (макродисперсный воздух), растворенный в жидкой фазе. Вакуумирование шликера способствует удалению из него воздуха. Вакуумируют шликер при разрежении от 40 до 61,2 МПа.

Способ отливки изделий также учитывают при подготовке шликеров. Так, для фаянсовых масс при отливке изделий сливным способом содержание частиц <1 мкм должно находиться в пределах 28—32%. Для масс с большим содержанием глинистых, например в массах для стендового литья, содержание частиц <1 мкм должно находиться в пределах 36—40%. Величина удельной поверхности массы для конвейерного литья 20—22 м²/г, для стендовых масс — 25—27 м²/г. В зависимости от способа отливки изделий изменяются требования к шликерам.

Наилучшие отливки получают при использоваиии шликеров наименьшей вязкости и влажности. В области максимальной текучести получают отливки наибольшей плотности. Характеристика шликеров, используемых отдельными фарфоро-фаянсовыми заводами, приведена в табл. 6.

Таблица 6. **ХАРАКТЕРИСТИКА ШЛИКЕРОВ**

| Показатель | Шликер | | | |
|---|---|---|---|---|
| | фаянсовый | низкотемпературного фарфора | полуфарфора | твердого фарфора |
| Остаток на сите № 006 (10 000 отв/см²), % | 12—14 | 1—2 | 5—8 | 0,5—1,5 |
| Влажность, % | 29—36 | 30—31 | 30—32 | 32—34 |
| Время истечения (мл) через: | | | | |
| 30 с | 12—15 | 12—15 | 9—12 | 8—11 |
| 30 мин | 26—28 | 23—28 | 22—29 | 20—30 |
| Плотность, г/см³ | 1,76 | 1,76 | 1,76 | 1,76 |
| Коэффициент загустеваемости | 1,6—2,5 | 2—2,5 | 2—2,2 | 1,8—2,2 |
| Набор массы через 2 ч, мм | 7,5—8 | 2—2,2 | 2,6—3 | 2,8—3,1 |



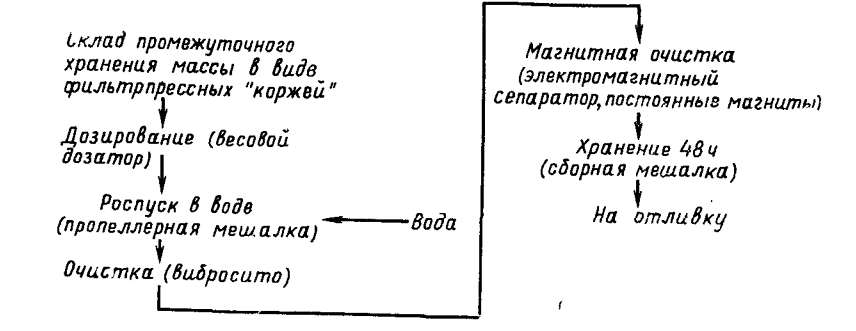



Рис. 27. Схема прессового приготовления шликера

В производстве изделий на поточных автоматизированных линиях используют быстрофильтрующиеся шликеры, получаемые за счет снижения содержания глинистых и повышения содержания отощающих материалов, главным образом, обожженного боя изделий. Быстрофильтрующийся шликер имеет текучесть (через 30 с) 8—10 мл, коэффициент загустеваемости (отношение вязкости через 30 мин к вязкости через 30 с после приготовления) 1,6—2,1 при влажности 31,2—31,6%.

**Приготовление шликера.** Литьевой шликер приготовляют двумя способами: прессовым и беспрессовым с совместным или раздельным помолом компонентов массы.

*Прессовый* способ обеспечивает более высокое качество шликера, в особенности если фильтр-прессные коржи до роспуска в воде выдерживались в подвалах не менее 1 мес. Однако он более трудоемок и сложен по сравнению с беспрессовым.

В производстве фарфоровых и фаянсовых изделий используют прессовый способ приготовления литейного шликера при раздельном помоле сырьевых материалов (рис. 27).

Фильтр-прессные коржи распускают в воде в пропеллерных мешалках, пропуская через сито № 016 (1480 отв/см²), электромагнитные сепараторы и постоянные магниты, и подают в сборную мешалку для созревания в течение 48 ч при постоянном перемешивании. При необходимости шликер вакуумируют в вакуумных резервуарах, куда его подают в виде тонких струй. Обработка шликера вибрацией или ультразвуком сокращает время приготовления, понижает его

4*(0,5) Зак. 331

структурную вязкость и улучшает диспергацию глинистых частиц.

*Беспрессовый* способ приготовления литьевого шликера применяют в производстве изделий строительной и реже в производстве бытовой керамики.

В шаровую мельницу загружают каменистые материалы, воду и электролиты (по рецепту) и размалывают в течение 3—6 ч. Затем добавляют к ним глинистые материалы и дополнительно размалывают еще 2—5 ч. Тонина помола характеризуется остатком на сите № 006 (10 000 отв/см$^2$) не более 2%. Далее шликер сливают в мешалку для созревания, откуда подают на участок литья изделий.

Качество шликера независимо от способов его приготовления повышается в результате выстаивания (созревания) в течение 1—3 сут перед подачей на отливку, вакуумирования (20—40 мин) в герметически закрытых сосудах с величиной разрежения от 40 до 61,3 кН/м, подогрева до температуры 30—35° С.

Оценивая качество шликеров, обращают внимание на величину pH (концентрация водородных ионов), которая составляет для суспензий каолина 8,44—8,57, бентонита около 7,9. Присутствие в каолине мокрого обогащения остаточных электролитов (ионы $Na^+$ и $Ca^{2+}$) ухудшает литьевые свойства шликеров. Нейтрализуют их вредное действие добавлением соляной кислоты или хлорида кальция.

*Вопросы для самопроверки*

1. **Каким требованиим должен удовлетворять шликер?**
2. **Охарактеризуйте взаимодействие электролитов со шликером.**
3. **Основные свойства шликеров и способы их регулировании.**
4. **Прессовый способ получения шликеров, его преимущества и недостатки.**
5. **Беспрессовый способ получения шликеров, его преимущества и недостатки.**

### 3. Приготовление порошкообразной массы

Порошкообразные керамические массы представляют собой высококонцентрированные дисперсные системы, состоящие из твердой, жидкой и газообразной фаз. Характерные особенности таких масс — незначительное содержание жидкой фазы, влажность всего 6—12%, ма-



лая связность и высокая сыпучесть. Используют порошкообразные массы для изготовления изделий способом полусухого и гидростатического прессования или приготовления пластичной массы при централизованиом приготовлении массы.

Пресс-порошки должны удовлетворять требованиям, определяемым особенностями полусухого способа изготовления изделий.

Зерна порошков представляют собой агрегаты из частиц глинистых минералов или компонентов массы. От их формы, размера и соотношения зерен различных фракций зависит плотность упаковки при прессовании, определяющая важнейшие свойства готовых изделий — пористость, прочность, морозостойкость.

Правильный подбор зернового состава обеспечивает минимальное содержание воздуха в порошке — обычно до 30%, наименьшую среднюю плотность изделий при наивысшей их прочности и достаточной морозостойкости.

*Сыпучесть* (подвижность) порошков определяет способность их быстро заполнять формы различной конфигурации. Она зависит от зернового состава, формы зерна, средней плотности, наличия в порошке пластифицирующих добавок, влажности, содержания пыли, шероховатости поверхности зерен и сил сцепления. При повышенном содержании крупных зерен, наличии зерен шамота или песка порошок становится более сыпучим, из него легче удаляется воздух при прессовании, порошок уплотняется более равномерно, но при этом требуется повышенное давление. Тонкие фракции увеличивают вязкость и уменьшают подвижность порошков, затрудняют прессование ввиду медленного удаления воздуха, увеличивают неравномерность уплотнения и среднюю плотность, а также возможность расслоения изделий — появление трещин. Окатанные зерна подвижнее острогранных. С повышением плотности зерен подвижность порошка увеличивается. Угол естественного откоса для керамических порошков 25—45°, но он достигает чаще 30—40°.

Влага снижает подвижность порошка. Влажность порошка обычно варьируется от 6 до 12%. Создавая водные пленки на поверхности зерен, влага в наибольшей мере проявляет роль связки при условии равномерного распределения ее в массе порошка. Влага

уменьшает силы внутреннего трения при прессовании, способствует большему сцеплению частиц и уплотнению порошка, снижает прессовое давление, повышает качество прессовок и готовых изделий.

При прессовании изделий из неравномерно увлажненного порошка создается рыхлая, неоднородная структура и на поверхности изделий возникают мелкие трещины. Объясняется это прежде всего тем, что процессы набухания различных по величине зерен не совпадают во времени. В крупных зернах эти процессы, как правило, заканчиваются с опозданием в отпрессованных изделиях, что приводит к возникновению внутренних напряжений, образованию трещин и рыхлой структуры. Завершению процессов набухания способствует прогрев пресс-порошка паром до 70—90° С. Считается, что нагрев массы при прессовании на каждые 10° С равноценен повышению ее влажности на 1%. Каждому значению оптимальной влажности пресс-порошка должна соответствовать определенная величина прессового давления.

При шликерной подготовке массы пресс-порошок получают путем обезвоживания суспензии в распылительной сушилке (рис. 28).

В зависимости от конструкции распыляющих устройств распылительные сушилки разделяются на три типа: с центробежной форсункой (диском), струйно-распылительные (с соплами) и фонтанные. По направлению движения теплоносителя и высушиваемого материала сушилки бывают прямоточные, противоточные и комбинированные.

В сушилках первого типа суспензия распыляется быстровращающимся распылительным диском. Теплоноситель — горячий воздух подается в башню сверху или снизу, или и сверху и снизу. Порошок скапливается в нижней конусной части башни. В сушилках второго типа суспензия распыляется в верхней части башни гидравлической форсункой, работающей под давлением. Теплоноситель проходит через сушилку сверху вниз в одном направлении с высушенным материалом. В сушилках третьего типа суспензия распыляется гидравлической форсункой в нижней части башни, образуя «фонтан». Теплоноситель подается сверху.

В противоточных сушилках получают более крупнозернистые порошки, чем в прямоточных, и с меньшим



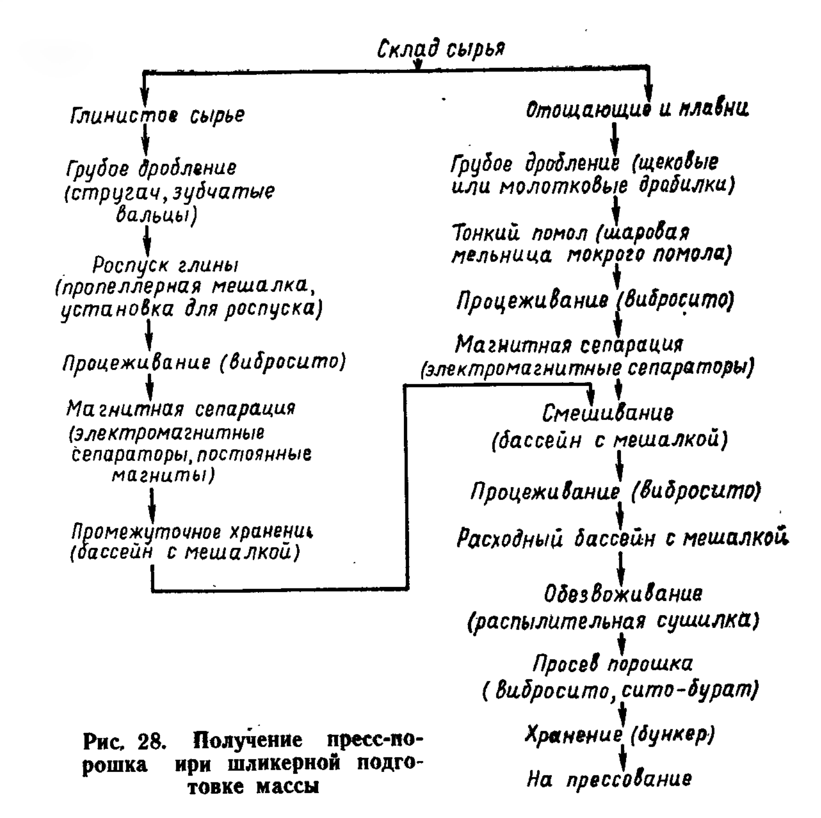



**Рис. 28. Получение пресс-порошка при шликерной подготовке массы**

содержанием пыли. Наиболее крупнозернистый порошок получают в фонтаниых сушилках.

На заводах строительной керамики используют распылительные сушилки с нижней подачей шликера конструкции Минского комбината строительных материалов (рис. 29), ПКБ НИИСтройкерамики и Гипростройматериалов. Высота и диаметр башии распылительиой сушилки Минского стройкомбината составляют 16 и 8 м, сушилки ПКБ НИИСтройкерамики 8 и 4,5 м. В сушилке Минского стройкомбината суспензия распыляется при помощи одной механической форсунки диаметром 7,5 мм, в сушилке ПКБ НИИСтройкерамики — 6—9 форсунок диаметром 2—3 мм, расположеиных в перекрытии башни.

Влажность суспензии, подаваемой на сушку, обычно 43—48%. Давление распыления в сушилке Минского

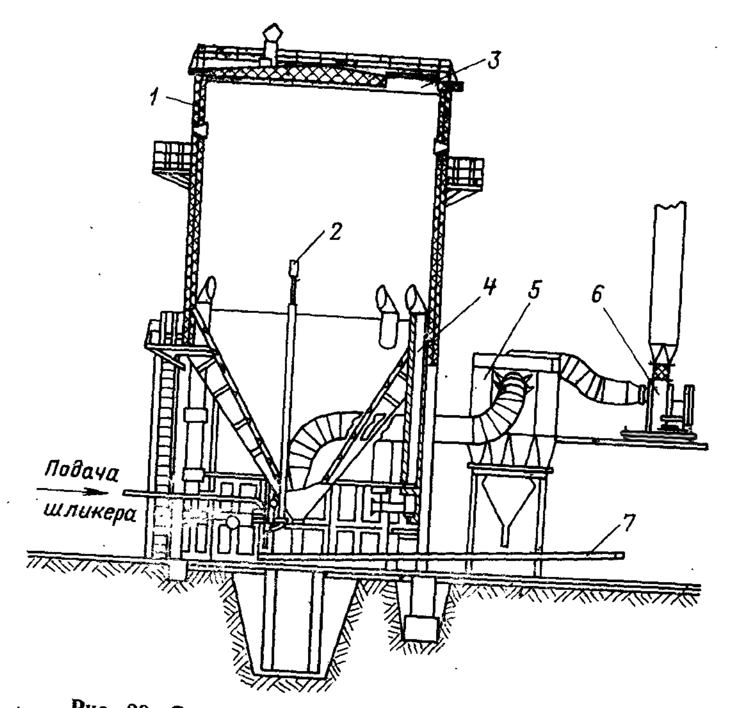



**Рис. 29. Схема башенной распылительной сушилки**

*1* — корпус; *2* — форсунка подачи шликера; *3* — взрывной клапан; *4* — топка; *5* — батарейный циклон; *6* — вентилятор; *7* — конвейер

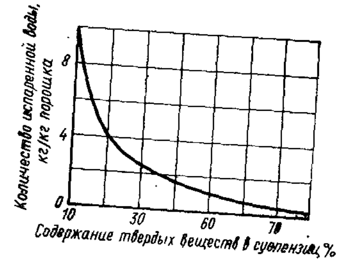



**Рис. 30. Зависимость количества испаренной воды от содержания сухого вещества в суспензии**

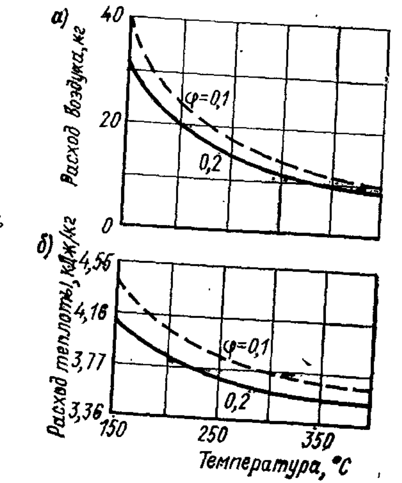



**Рис. 31. Зависимость расхода воздуха (*а*) и теплоты (*б*) от температуры и относительной влажности**



комбината достигает 2,8 МПа, в сушилке ПКБ НИИСтройкерамики 1—1,5 МПа, в сушилке Гипростройматериалов 1,2—1,4 МПа.

Удельная затрата электроэнергии при пневматическом способе распыления суспензии в 2,5—3 раза больше, чем при распылении диском, однако он обеспечивает более узкий регулируемый факел распыления по сравнению с распылением диском, что является его несомненным достоинством. При распылении суспензии в рабочей камере сушилки осаждается 98—99,5% высушенного порошка и лишь 2—0,5% частиц размером менее 60 мкм уносится и улавливается в пылеуловителях. Температура теплоносителя, подаваемого в камеру, 400—800° С, продолжительность сушки до 30 с. Производительность распылительных сушилок колеблется от 1,5 до 12 т/ч порошка. Температура порошка на выходе из сушилки равна 50—60° С, влажность 6—8,5%.

Экономичность работы распылительных сушилок зависит главным образом от содержания сухого вещества в водной суспензии. Зависимость количества испаренной воды от содержания сухого вещества в суспензии показана на рис. 30.

Расход воздуха на сушку зависит от его температуры и относительной влажности на выходе из сушилки. Зависимость удельного расхода воздуха (кг) на 1 кг испаренной воды от температуры воздуха, подаваемого в сушилку, и удельный расход теплоты показаны на рис. 31. Расход условного топлива равен 3—3,3 кг/кг испаренной влаги, электроэнергии 10—20 кВт·ч на 1 кг порошка при конечной влажности порошка 6%.

Успешное использование распылительных сушилок в производстве строительной керамики создало условия для организации централизованного приготовления фарфоровых масс в производстве изделий бытового назначения.

**Централизованное приготовление массы** возможно двумя путями. Пластичную массу и шликер готовят на заводе и поставляют их расположенным вблизи фарфоровым заводам или же пластичную массу и литьевой шликер готовят на заводах — изготовителях изделий (независимо от места их расположения) из пресс-порошка.

Централизованное приготовление массы позволяет стабилизировать химический и гранулометрический со-

став массы, ее влажность и технологические свойства, снизить в 3—4 раза стоимость приготовления массы, высвободить производственные площади цехов заводов и создать условия для автоматизированного производства фарфоровых и фаянсовых изделий по всему технологическому циклу. Централизованное приготовление массы и шликеров способствует экономии сырья, позволяет унифицировать составы масс и шликеров на многих заводах, снизить отходы и повысить качество изделий. Высокая однородность и стабильность свойств порошков, сохраняющиеся при транспортировании и длительном хранении, облегчают их использование для приготовления пластичных масс и шликеров в централизованном порядке для крупных экономических районов страны.

Впервые централизованиое приготовление фарфоровой массы из тонкомолотого сырья осуществлено на фабрике фирмы «Лоренц Хюттенрейтер» (г. Зельб, ФРГ, рис. 32).

Предварительно подготовленные каолин, полевой шпат и бой изделий с размером частиц 60—90 мкм поступают на фабрику в силосных тележках *3*, рельсовых вагонетках *2*, вагонах *4* и самосвалах *5*. Каолин подается непосредственно через бункер *7* и элеватор *8* в силос *9* или ячеистоколесный питатель *10*. Тонкомолотый пегматит и бой изделий поступают соответственно в бункеры *12* и *13*. Вся система герметична. Над бункерами установлены фильтры с моторным отсосом *6*.

Каолин из силоса *9* пневмоподатчиком *11* толчкового типа с встроенными в него весами подается в приемный силос *26*. Сжатый воздух поступает от компрессорной установки *1*, отработанный воздух удаляется через пылесборник *28*. Давление воздуха в трубопроводе составляет примерно 0,6 МПа, скорость воздуха — 10 м/с. Бой изделий из бункера *12* по конвейеру *14* и пегматит из бункера *13* через затвор *15* поступают попеременно в пневмоподатчики *11* и далее в силосы. Каолин из приемного силоса *26* через поворотный распределитель *27*, оборудованный весами, подается в секторные силосы *30* для хранения. Двенадцать секторных силосов для каолина, пегматита, боя изделий и других материалов вместимостью 180 т каждый расположены в центральной башне сектороообразно вокруг центрального силоса *29*, основного силоса для пегматита вместимостью 1000 т,



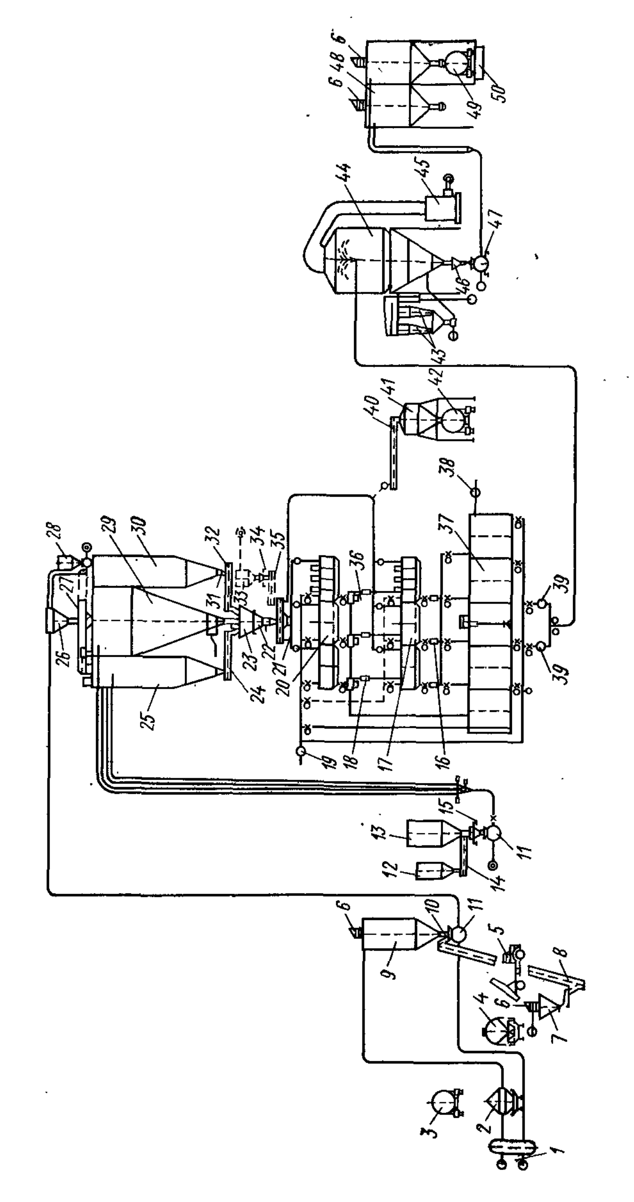


Рис. 32. Схема централизованного приготовления массы

поднятого над уровнем пола на 45 м. Два силоса из двенадцати используются для пегматита особой гранулометрии и для боя изделий. Спускные конусы каолиновых силосов оборудованы вибраторами *31*.

Конусы пегматитового и шамотного (бой изделий) силосов оборудованы воздушными рыхлителями. Материалы из секторных силосов *25* и *30* по дозировочным ленточным волнисто-пластинчатым герметизированным конвейерам *24* и *32* подаются на центральные весы *23*. Из центрального силоса *29* пегматит поступает непосредственно на весы. Центральные весы вместимостью 3 т помимо вибрационного механизма оборудованы нейтронным измерителем влажности *22*. На выходе из весового резервуара расположен электронный распределительный механизм — питатель *21*, который направляет материал в одну из двенадцати спускных труб, ведущих в шестигранные сотообразные камеры *20* вместимостью 180 т для роспуска каолина или находящиеся под ними шестигранные сотообразные смесительные мешалки *17* вместимостью 42 м³ каждая. Для каждой массы каолин подается через весы в распускатель, оборудованный вибрационными взбалтывателями. Поршневой счетчик — водомер *19* подает в распускатель необходимое количество воды. Продолжительность диспергирования каолина составляет 45 мин.

Суспензия каолина через вибрационное сито *36* и постоянные магниты *18* поступает в смесительные мешалки *17*, куда через другую систему труб от весов поступают каменистые компоненты массы. Через 45 мин готовая суспензия подается в насосные приямки-зумпферы *37*. Восемнадцать таких приямков, расположенных сотообразно, общей вместимостью 100 м³ позволяют подготавливать одновременно восемнадцать различных масс. Между смесительными мешалками и приямками насосов помещены затворы и размагничивающие катушки *16*.

При вводе в массу электролитов или других добавок в технологической схеме предусмотрена дополнительная установка резервуара *33*, весов *34* и повторного распределителя. *35*. Предусмотрена также выдача части каолина и пегматита после взвешивания через конвейер *40* из башни мокрого обогащения в отправочный силос *41* вместимостью 30 м³ и далее в транспортирующие устройства *42*. Если влажность материала



не соответствует кондиции, его выбирают из башни с помощью конвейера *40*.

В центре смесительной башни размещены два мембранных насоса *39* высокого давления (до 2,7 МПа), которые подают суспензию из зумпферов в распылительную сушилку *44*. Из смесительных мешалок суспензию можно выбирать нагнетательным насосом *38*

Распылительная сушилка высотой 24 и диаметром 8 м выдает в сутки 105 т фарфоровой массы влажностью около 5%. За 1 ч испаряется 3 м³ воды при распылении 7,5 т суспензии. Средняя плотность суспензии, подаваемой на распыление, равна 1,59 г/см³, влажность 40%. Сушка суспензии в первой фазе происходит по принципу противотока (в момент фонтанирования), а в последующей — прямотоком в потоке горячего воздуха, поступающего от масляного воздухонагревателя *45*.

Отработанный теплоноситель очищается в циклонах *43*. Контроль влажности порошка осуществляется нейтронным влагомером *46*. Перед пневматической подачей порошка в восемь силосов *48* вместимостью 120 м³ каждый его взвешивают на весах *47*. Готовый порошок поступает в цистерны *49* после взвешивания на весах *50* и отпускается потребителям или поступает в отделение приготовления пластичной массы и литейного шликера.

В технологической схеме централизованного приготовления фарфоровой массы важную роль выполняет ЭВМ, которая регистрирует сортность и количество поступающего сырья и его влажность, составляет массы по заданным рецептам с учетом влажности сырья, определяет потоки каждого вида сырья по транспортным системам и закладку его в силосы, следит за уровнем заполнения емкостей, силосов и резервуаров, управляет работой шиберов и затворов, весов, контролирует и регулирует все процессы, фиксирует помехи и отклонения от заданного режима.

*Вопросы для самопроверки*

1. **Характеристика пресс-порошка.**
2. **Способы подготовки пресс-порошков.**
3. **В чем преимущества централизованного приготовлении пластичной массы и шликеров?**

# ГЛАВА 5. ИЗГОТОВЛЕНИЕ ФОРМ

## 1. Материалы для изготовления форм

**Формовочный гипс.** В себестоимости фарфоровых и фаянсовых изделий бытового назначения расходы на формовое хозяйство из гипса составляют от 1,7 до 3,4%, а трудовые затраты около 10% общей трудоемкости изготовления изделий.

Формовочный гипс представляет собой тонкомолотый порошок полуводного гидрата сернокислого кальция $CaSO_4 \cdot {}^1/_2H_2O$ следующего состава: 38% CaO, 55,2 $SO_3$, 6,2% $H_2O$, получаемый путем обработки природного двуводного гипса $CaSO_4 \cdot 2H_2O$. Гипсовый камень должен соответствовать требованиям ГОСТ 4013—74.

Процесс дегидратации двуводного гипса протекает по реакции

$$CaSO_4 \cdot 2H_2O \overset{130-170^\circ C}{\rightleftarrows} CaSO_4 \cdot 0,5\,H_2O + 1,5\,H_2O\ .$$

Кривая дегидратации гипса приведена на рис. 33. Участок кривой *AB* соответствует продолжительности подогрева двуводного гипса до начала дегидратации, участок *BC* — периоду дегидратации при температуре 130—170° C, участок *CD* — окончанию процесса дегидратации с повышением температуры до точки *D* (180—190° C), которая превышает температуру дегидратации на 20—25° C, что необходимо для полного завершения процесса дегидратации более крупных зерен двуводного гипса.

К формовочному гипсу предъявляют следующие требования: при затворении с водой давать однородную массу; обеспечивать повышенную пористость и достаточную механическую прочность отливок; иметь небольшое объемное расширение при литье и постоянные сроки схватывания, позволяющие отливать формы для крупных изделий. Физико-технические свойства полуводного гипса характеризуются (по МРТУ 21-31-76) следующими показателями: тонкость помола по остатку на сите № 02 (918 отв/см²) не более 0,5%, начало схватывания не ранее 8 мин, конец — не позже 25 мин, объемное расширение не более 0,15%, предел прочности через 7 сут при растяжении не менее 2,3 МПа, при сжатии не менее 16 МПа.



Формовочный гипс должен храниться в сухих закрытых помещениях, так как жадно поглощая влагу из воздуха, он переходит в двуводный гипс, теряя свои свойства. Транспортировать гипс необходимо в упаковке. Предельный срок хранения гипса на складе до трех месяцев, при этом его активность снижается на 30—50%.

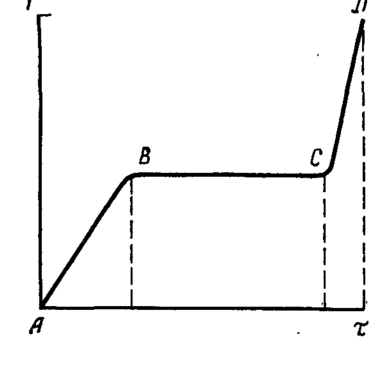



Рис. 33. Кривая дегидратации гипса

**Приготовление гипсового раствора.** Перед приготовлением раствора гипс просеивают через сито № 045 (252 отв/см²) для литья форм и через сито № 0355 (400 отв/см²) для литья капов и моделей. При затворении гипса водой частицы гипса, суспендируясь в воде, покрываются водной пленкой. Через 1—5 мин после затворения начинается гидратация гипса, раствор приобретает густо-текучую консистенцию и становится пригодным для отливки. Порядок приготовления гипсового раствора следующий: воду, подогретую до температуры 35—40° C, заливают в мешалку, затем туда же засыпают формовочный гипс и через 0,5—1 мин смесь перемешивают в течение 2—3 мин. Приготовленный гипсовый раствор немедленно заливают в матричные формы или капы.

Водогипсовое соотношение (гипс : вода) во многом определяет качество гипсовых форм. Это объясняется тем, что для полной гидратации гипса требуется 18,6% (по массе) воды, остальная вода — более 80% остается в свободном состоянии, обусловливая пористость высушенной формы, ее структуру и прочность. Прочность отливок из гипса обратно пропорциональна консистенции гипсового раствора. С повышением водогипсового отношения увеличивается размер кристаллов двуводного гипса, с понижением — уменьшается не только пористость, но и средний размер пор.

При изготовлении форм руководствуются такими оптимальными соотношениями гипс : вода, как 1 : 1 — для форм литья; 1,43 : 1 — для форм пластического фор-

мования; 1,6 : 1 — для изготовления капов и моделей; 1,25 : 1 для форм, предназначенных для литья и пластического формования. На практике чаще всего применяют следующие соотношения: 56 : 44 — для форм, используемых на шпиндельных станках и для литья тонкостенных изделий; 60 : 40 — для форм, используемых для формования изделий на полуавтоматах и автоматах; 50 : 50 — для форм, используемых для литья рядовых изделий и формования капселей; 67 : 33 — для приготовления капов и моделей.

Вакуумирование гипсового раствора в течение 1,5—2 мин при глубине вакуума 0,8—0,9 МПа удлиняет сроки схватывания на 15—20% и повышает механическую прочность отливок на 18—20%, улучшает состояние поверхности формы и повышает оборачиваемость форм на 20—25%. Вакуумированный гипсовый раствор обладает повышенной текучестью, лучше заполняет все неровности и соединения капа. Вакуумирование способствует снижению пористости форм на 10—12% и изменяет характер пор. Структура формы более однородна (рис. 34) и не имеет замкнутых воздушных включений, снижающих прочность формы и не участвующих в капиллярном отсосе влаги. Коэффициент расширения вакуумированного гипсового раствора снижается.

Качество и экономичность гипсового раствора в процессе его приготовления повышаются при использовании механизированных и автоматизированных установок. В ФРГ, например, используются установки «Роко-вакумат» десяти типоразмеров производительностью от 100 до 1600 л/ч.

Смешивание гипса с водой осуществляется одновременно с вакуумированием раствора в специальных резервуарах. Дозирование гипса и воды, глубина и продолжительность вакуумирования автоматизированы.

Разгрузка вакуумных резервуаров и подача гипсового раствора к месту отливки форм на расстояние до 150 м производятся пневматически. Продолжительность загрузки, приготовления раствора, разгрузки и чистки составляет 2—3 мин в зависимости от вместимости резервуара (100—1600 л).

Прочность, водопоглощение, твердость и другие свойства форм во многом зависят от степени измельчения гипса, режима смешивания гипса с водой, водогипсового отношения, а также чистоты исходного сырья



а)

б)

**Рис. 34. Структура формы из невакуумированного (*а*) и вакуумированного (*б*) гипсового раствора**

(рис. 35). Нагревание воды до температуры 35—40° С и добавление 0,3—0,5% двуводного гипса способствует повышению прочности форм. Продолжительность пребывания гипсового раствора в ковше до заливки форм не должна превышать 2—3 мин.

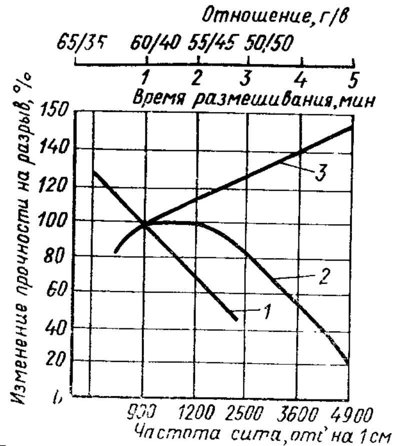



**Рис. 35. Влияние условий изготовления гипсовых форм на их прочность**

*1* — водогипсовое отношение; *2* — продолжительность перемешивания; *3* — степень измельчения

**Твердение гипсового раствора.** Процесс схватывания и твердения гипсового раствора по А. А. Байкову состоит из трех периодов: растворения полуводного гипса в воде с образованием насыщенного раствора; превращения кристаллических частиц полуводного гипса в коллоидные частицы двуводного гипса и кристаллизации двуводного гипса из пересыщенного раствора с увеличением размеров кристаллов. Имеются и другие точки зрения на процесс твердения гипсового раствора. Процесс твердения начинается через 5—8 мин после затворения гипса водой. Кристаллы полуводного гипса, присоединяя 1,5 молекул воды, переходят в двуводный гипс, раствор быстро перенасыщается кристаллами двуводного гипса, растворимость которого (2,6 г на 1 л воды при температуре 20° С) в 4 раза меньше полуводного гипса (10,5 г на 1 л воды) и из раствора выпадают мельчайшие, коллоидные частицы двуводного гипса. Образуется рыхлая пространственная сетка ввиду возникновения ван-дер-ваальсовых сил, действующих через тонкие пленки воды. Такая структура называется коагуляционной.

Вследствие выпадения из раствора частиц двуводного гипса раствор по отношению к полуводному гипсу становится ненасыщенным. В нем растворяются новые порции полуводного гипса и процесс повторяется.

Двуводный гипс быстро кристаллизуется, а тесное срастание его кристаллов приводит к затвердеванию гипсовой отливки и образованию кристаллизационной структуры формы.

Интенсивный рост кристаллов двугидрата происходит сразу же после заливки гипсового раствора в форму. Затвердевшая гипсовая масса представляет собой



каркас взаимосросшихся иглоподобных кристаллов устойчивого двуводного гипса с размером кристаллов 2—5 мкм, окруженных сетью сообщающихся пор, заполненных водой, а после испарения ее при сушке форм — связанных системой открытых пор.

Процесс схватывания гипсового раствора сопровождается незначительным увеличением объема гипса (на 0,1—0,3%). Высокое объемное расширение нежелательно, так как возникает опасность распушивания форм растущими кристаллами двуводного гипса и снижения прочности форм. Повышенное объемное расширение гипса уменьшают, затворяя его водой, содержащей известковое молоко, добавкой молотого двуводного гипса и др. Объемное расширение при твердении гипсового раствора способствует лучшему заполнению формы и более точному воспроизводству отливаемого изделия.

Твердение гипсового раствора может как ускоряться, так и замедляться при введении различных добавок. Влияние добавок в основном сводится к изменению формы и размеров двуводного гипса, прочности связи кристаллов в отливке и ее текстуры.

Все замедлители процесса схватывания раствора полуводного гипса могут быть разделены на три группы: органические добавки с высокой молекулярной массой, образующие коллоидную защиту (клеи, желатин, меласса, гидролизированный протеин, сода и др.); добавки, уменьшающие растворимость гипса (спирт, глицерин, ацетон, сахар, фосфорная, борная, уксусная и лимонная кислоты, а также растворы их солей); добавки, изменяющие структуру двуводного гипса (триполифосфат, сапонин, ацетат кальция и др.).

Добавки, ускоряющие схватывание гипсового раствора; ССБ (0,1—5%), серная и соляная кислоты, щелочи, аммиак, крахмал, мыло, хромат кальция, фторид алюминия, силикат кальция, поваренная соль и др. Они в меньшей мере влияют на изменение формы и размер кристаллов двугидрата гипса, чем замедляющие добавки.

Мелкозернистая структура отливки имеет более высокую прочность, чем крупнозернистая. Со временем гипсовые формы теряют прочность в связи с образованием крупнозернистой структуры. Потеря прочности ускоряется при попеременном увлажнении (отливка изделий) и высушиваниии при температуре 60—70° С.

5* Зак. 334

Уменьшение прочности в этом случае объясняется растворением игловидных кристаллов двугидрата, в результате чего в структуре гипсовой формы преобладают несросшиеся между собой частицы двуводного гипса. Изменения структуры форм в процессе эксплуатации незначительны и выход форм из строя объясняется, главным образом, износом их рабочих поверхностей.

Расход гипса составляет 120—200 кг на 1 т готовых фарфоровых и 100—150 кг на 1 т фаянсовых и майоликовых изделий. Для снижения стоимости форм используют примерно до 25% регенерированного (повторно обожженного) гипса из выбракованных форм. Расход формовочного гипса на 1 т гипсовых отливок равен 1,05 т, расход воды 1 м$^3$.

## 2. Изготовление форм

**Требования к гипсовым формам.** Технология пластического формования и литья изделий требует от форм высокой прочности при достаточной способности их к всасыванию воды.

Гипсовые формы должны придавать изделиям в негативном виде особенности рельефа своих рабочих поверхностей, равномерно адсорбировать влагу из изделий, сохранять неизменными собственные размеры и форму в процессе длительной эксплуатации, не загрязняться коллоидными частицами глинистого вещества и хорошо противостоять действиям электролитов, всегда имеющихся в массе.

Такие требования к гипсовым формам во многом объясняются условиями их эксплуатации: непосредственный контакт с влажной средой, выщелачивающее воздействие дисперсионной среды шликера и содержащихся в ней электролитов, частая смена температурных условий, особенно при эксплуатации форм на поточных автоматизированных линиях.

Требования к качеству гипсовых форм зависят также от способа формования изделий: формы, предназначенные для литья, должны обладать хорошей водопоглощаемостью и иметь удовлетворительную прочность, формы для пластического формования изделий — повышенной прочностью при удовлетворительном водопоглощении.



Пористость гипсовых форм для пластического формования составляет 30—40%, для литья изделий — 35—65%, водопоглощение 30—40%, воздухопроницаемость 0,05 л/с. Средний гидравлический диаметр пор 1,6—1,8 мкм, максимальный диаметр 4—7 мкм. Средний размер пор в форме из гипса β-модификации с повышением температуры схватывания увеличивается за счет укрупнения кристаллов двугидрата гипса. Встречаются отдельные поры размером до 200 мкм. Средняя плотность гипсовой формы 0,95 г/см$^3$.

Размер пор определяет величину капиллярных сил, обеспечивающих всасывающую способность формы. Чем больше пористость при меньшем размере пор, тем больше скорость образования слоя массы на поверхности формы; чем больше размер пор, тем меньше скорость образования черепка изделий.

На величину поглощения формой воды влияет также толщина слоя массы, отложившейся на поверхности формы, влажность гипсовой формы, свойства шликера и его дисперсность, влажность и температура шликера. При слишком быстром поглощении воды из отливки на поверхности формы образуется твердая корка, вследствие чего на изделии могут возникнуть складки. Кроме того, изделие может преждевременно отставать от формы. При медленном поглощении воды гипсовая форма несколько размягчается и изделие пристает к ней. Нормальная скорость поглощения воды 0,2—0,3 г/см$^2$·мин. Наибольшая поглощающая способность гипсовых форм наблюдается при температуре 15—20° С. Зависимость прочности форм при сжатии и коэффициента диффузии от водогипсового отношения приведена на рис. 36.

Количество свободной воды в гипсовых формах должно быть не более 5—6%. При повышении влажности форм до 17—19% их направляют на сушку. Температура сушки форм не должна превышать 70° С во избежание частичной дегидратации гипса. Предел прочности форм при растяжении в 5—8 раз меньше предела прочности их при сжатии и составляет в среднем при растяжении до 3,5 МПа, а при сжатии 14 МПа. Предел прочности при изгибе 2,5—8 МПа, твердость по Бринеллю 15,3 МПа. Прочность гипсовых форм, высушенных при температуре 60—70° С, в 2—2,5 раза выше прочности влажных после изготовления.

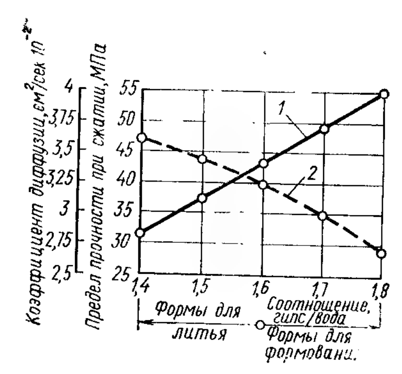



**Рис. 36. Зависимость прочности при сжатии (*1*) и коэффициента диффузии (*2*) от водогипсового отношения**

Рабочую поверхность новых форм протирают губкой, смоченной в 2—5%-ном растворе соды, так как выделяющаяся в процессе сушки свободная вода растворяет в себе гипс, который откладывается на поверхности пор в виде тончайшего налета тонкодисперсных кристалликов. Кроме того, возможно загрязнение поверхности форм мыльно-масляной смазкой.

Гипсовые формы должны выдерживать при пластическом формовании чашек, чайников, полукружек и приставных деталей к ним 50—80 оборотов (циклов); тарелок, блюдец, полоскательниц, крышек, солонок, бомз, капселей тарелочных, блюдечных бандур — 80—100; крупных изделий, изготовляемых способом литья, — 50—60 оборотов.

Недостатками гипсовых форм являются небольшой срок их эксплуатации, значительная масса (для тарелок 1,6—1,8 кг, чашек 0,9—1,1 кг), ограниченное регулирование скорости образования стенок изделий, уменьшение скорости образования стенок изделий при повторном использовании форм, трудность извлечения изделий сложной конфигурации из формы, повреждение поверхности форм при чистке, низкая производительность труда при литье изделий в формах, трудоемкость изготовления и невозможность высокотемпературной скоростной сушки форм.

**Последовательность изготовления форм.** Последовательность технологических операций изготовления гипсовых форм приведена на рис. 37. Это длительный многооперационный процесс, предусматривающий изготовление модели, маточной формы (негативное изображение модели), маточного капа, пристроя, кожуховой формы и рабочего капа для размножения рабочих модельных гипсовых форм (рис. 38).

Модель *2* должна соответствовать изделию в натуральную величину с учетом усадки при сушке и обжи-



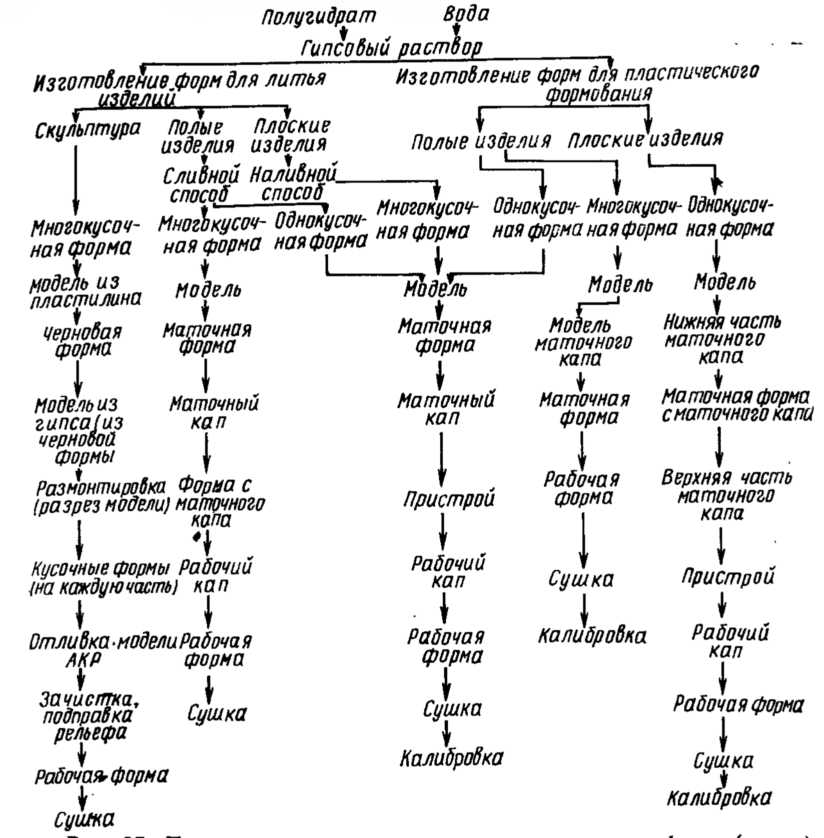



**Рис. 37. Последовательность изготовления гипсовых форм (схема)**

ге. Ее размеры определяют по формуле $X=100\cdot a/(100-b)^2$ ($a$ — размер изделия после обжига, $b$ — усадка массы, воздушная и огневая). Изготовляют модель вручную из пластичной малоусадочной глины, пластилина, полуэфировых или эпоксидных смол или обточкой из гипсовой болванки *1*. Маточную форму *3* изготовляют из гипса. Это черновая модель, при помощи которой получают требуемое количество гипсовых моделей. Маточный кап — вторичная модель изделия, необходимая для отливки по ней рабочих форм в требуемом количестве. Сначала отливают верхнюю часть *4* маточного капа, а затем нижнюю *5*. Готовые части маточного капа смазывают олифой, сушат и по ним отливают нижнюю *6* и верхнюю *7* части пристроя, которые после про-

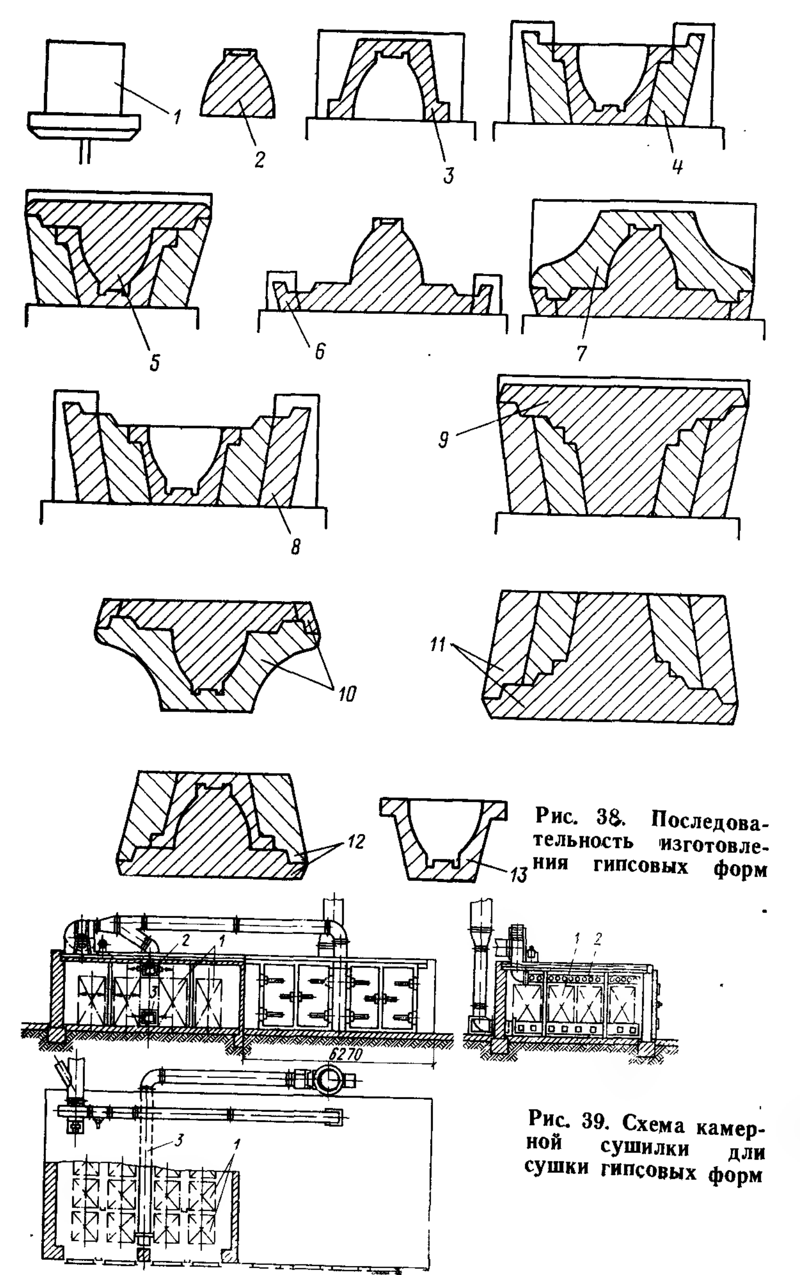


Рис. 38. Последовательность изготовления гипсовых форм

Рис. 39. Схема камерной сушилки для сушки гипсовых форм



питывания олифой и сушки используют для размножения нижней части рабочих капов.

По верхней части маточного капа отливают верхнюю часть *8* ее пристроя, а по нижней части маточного капа и пристроя после окружения их обводкой отливают нижнюю часть пристроя *9*. После обработки и подгонки пристроев, пропитывания олифой и сушки по ним отливают рабочие капы *10* — нижнюю часть капа в пристроях, отлитых по верхней части *11* маточного капа. После твердения гипса обечайки снимают, собирают нижнюю и верхнюю части рабочего капа *12*, оправляют (калибруют), смазывают спиртовым лаком, а после высыхания лака олифой. Рабочую (модельную) форму *13* отливают по капу. Кап смазывают, устанавливают обечайку и заливают раствор. После твердения гипса и снятия обечайки форму протачивают, покрывают лаком и олифой. Рекомендуемый состав мыльно-жировой эмульсии, %: мыло ядровое 72%-ное или детское — 33, масло веретенное или трансформаторное — 67. Воду добавляют по мере надобности для получения эмульсии необходимой густоты. Хорошей смазкой для форм является смесь следующего состава, кг: вода — 0,5, солидол — 1, сода кальцинированная — 0,3. Смесь кипятят в продолжении 15 мин на водяной бане и в теплом виде наносят на форму, что обеспечивает ее хорошее закрепление на поверхности гипса. Гипсовые модели, матричные формы и капы можно также пропитывать олифой или покрывать тонким слоем спиртового лака, состоящего из шеллака — 25% и спирта гидролизного — 75%.

Продолжительность службы гипсовых капов может быть увеличена почти в два раза, если их поверхности, пропитанные натуральной олифой, дополнительно пропитать специальной мастикой из эпоксидной смолы, дибутилфталата и полиэтиленполиамина в соотношении 1 : 6 : 1. После пропитки капы сушат в естественных условиях в течение 48 ч.

Режим литья в значительной степени определяет качество форм. Рекомендуется заливать гипсовые формы осторожно в один угол капа, гипсовый раствор растекается по всему капу, и это позволяет избежать уплотнения гипсовой формы в местах соприкосновения струи гипсового раствора с капом. В результате водопоглощение гипсовой формы становится равномерным. Для удаления пузырьков воздуха залитые гипсовым раствором

формы следует встряхивать или вращать по мере заполнения их гипсовым раствором.

Сушат гипсовые формы в камерных (рис. 39), туннельных или конвейерных сушилках при температуре не выше 70° С в течение 16—30 ч в зависимости от размеров формы до остаточной влажности 5—6%.

Камерная сушилка состоит из двух камер, в каждой из которых помещается четыре ряда клетей *1*. Отопительно-вентиляционная система общая на обе камеры. Нагнетательный коллектор *2* с соплами расположен под потолком камеры, а вытяжной короб *3* внизу камеры (на полу). Для снижения затрат теплоты на сушку сушилка оборудована системой рециркуляции (повторного использования) теплоносителя. Расход теплоты на 1 кг испаренной влаги в сушилке составляет 8400—9240 кДж. Скорость влагоотдачи обратно пропорциональна относительной влажности теплоносителя.

При сушке вновь отлитых гипсовых форм учитывают, что высокая скорость теплоносителя при низкой его температуре лучше, чем высокая температура теплоносителя при недостаточной его циркуляции. Равномерность сушки форм оказывает большое влияние на их прочность, которая возрастает по мере их высушивания.

Сушка гипсовых форм при температуре 20—40° С должна осуществляться достаточно медленно при относительной влажности воздуха около 50%. В связи с высоким коэффициентом теплового расширения ($17{,}27 \times 10^{-6}$ град$^{-1}$) формы охлаждают от температуры ниже 38° С так же медленно, чтобы не допустить их растрескивания.

Пересушенные формы интенсивно всасывают влагу при соприкосновении с ними массы или шликера, что приводит к образованию на поверхности изделий корки, складок и трещин. Слишком влажные формы плохо отсасывают влагу из массы или шликера, вследствие чего удлиняется время изготовления моделей, а отлитые изделия прилипают к форме.

Новые гипсовые формы подвергают калибровке на одношпиндельных станках, что необходимо для получения изделий заданных размеров и точной формы. Производительность полуавтомата для калибровки гипсовых форм тарелок составляет 480—720 в час при частоте вращения шпинделя 6,1 $с^{-1}$ и мощности электродвигателя 1 кВт.



**Схема поточной линии, созданной на фарфоровом заводе им. М. В. Ломоносова, приведена на рис. 40. В линию входят узел приготовления раствора гипса, замкнутый горизонтальный конвейер длиной 26 м, пять камерных сушилок и станок для калибровки сухих форм. В растворном узле выполняются** операции дозирования воды и гипса, смешивания и вакуумирования гипсового раствора, а также его транспортирования к местам заливки форм.

Работа на поточной линии производится в такой последовательности. Ковш *8* (см. рис. 40) устанавливают на тележку *9*, подают на весы *4*. Включив весы рукояткой *20*, взвешивают ковш. Заливают в него требуемое количество воды (по массе) из дозатора *3* и засыпают гипс (по объему) из дозатора бункера порошкового гипса 5. Гипсовый порошок поступает в бункер из ларя *1* с помощью шнекового транспортера *2*. Заполненный ковш по подъездному пути *6* подают под вакуумный колокол *7*, после опускания которого включается мешалка и вакуумный насос. После вакуумирования колокол поднимается, и ковш с готовым гипсовым раствором тельфером *10* по монорельсу *11* подают к конвейеру *13*. Наклоняя ковш, заливают раствор в капы *12* по ходу движения конвейера. Опорожненный ковш подают тельфером к месту мойки от остатков гипсового раствора, затем цикл повторяется. Далее формы загружают на монорельсовые вагонетки *14*, направляя в сушильные камеры *19*, а после сушки к калибровочному станку *17*. Готовые формы подъемником *18* подаются в литейно-формовочный цех к рабочим местам при помощи монорельсового пути *16* и транспортера *15*.

Производительность поточной линии 1000 форм в смену. Для продления срока службы гипсовых форм их рекомендуется пропитывать растворами калиевых квасцов, цинкового или медного купороса, буры и обрабатывать (окунать) наружную поверхность 2%-ным поливиниловым спиртом с последующей сушкой при температуре 60° С или 50%-ным сульфитно-спиртовым раствором. Пропитывают формы также растворами борнокислого алюминия плотностью 10° Боме при температуре 30° С и канифоли в скипидаре (массовое соотношение 30 : 70).

**Замена гипса при изготовлении капов.** В формовом хозяйстве фарфоровых и фаянсовых заводов особенно

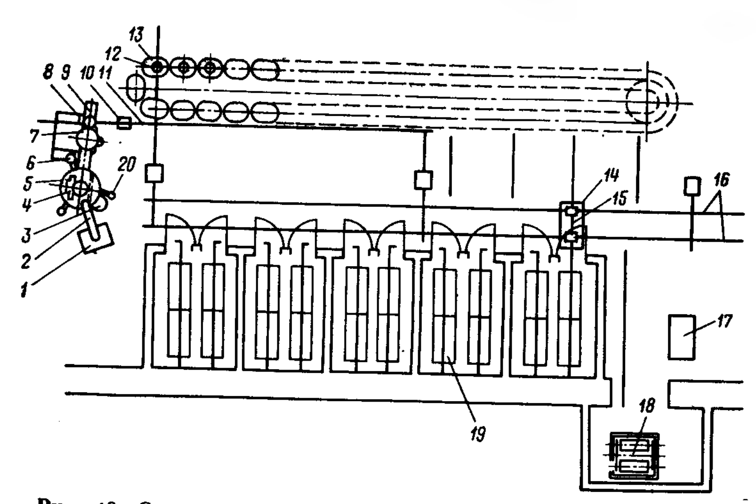



**Рис. 40. Схема поточной линии изготовления гипсовых форм**

трудоемким процессом из-за сложности конструкции и большой массы гипсовых форм является изготовление капов. Для изготовления моделей капов и кожуховых форм используют преимущественно металл (бронзу, алюминий, чугун), серно-графитные массы, а также новые органические материалы. Чтобы продлить срок эксплуатации капов и моделей, в гипс вводят различные добавки, заменяют его другими материалами, которые могут затвердевать без уменьшения объема, не содержат компонентов, способных улетучиваться под влиянием выделяющейся теплоты при отливке рабочих форм. Использование серно-графитовой и серно-тальковой (31% талька, 69% серы) массы улучшает качество капов и в 10—20 раз повышает срок службы по сравнению со сроком службы капов из гипса. В последнее время для изготовления капов применяют эпоксидные смолы ЭД-20 и ЭД-16 отечественного производства и «CH-Epoxy 1200» (ЧССР). В качестве отвердителей смол используют полиэтиленполиамин и приэтаноламин. Пластификатором является дибутилфталат, наполнителем сухой кварцевый песок, просеянный через сито № 07 (98 отв/см$^2$).

Матричный кап для литья капов из эпоксидных смол изготовляют из высокопрочного гипса. Перед заливкой матричный кап пропитывают олифой или мастикой одного из следующих составов, %: 1) растопленный парафин 10, масло веретенное 60, дизельное топливо 30; 2) парафин 15, масло веретенное 85; 3) масло трансформаторное 65, вазелин 35.



После пропитывания матричный кап покрывают мыльно-масляной эмульсией, состоящей из смеси 72%-ного мыла ядрового (33%) и масла трансформаторного (67%), и выдерживают в течение $1/2$ ч в вытяжном шкафу. Остатки эмульсии с поверхности капа после выдержки снимают с помощью мягкой кисти. Для литья рабочих капов готовят необходимое количество смеси из эпоксидной смолы, отвердителя и пластификатора одного из следующих составов, %: 1) смола ЭД-20—87, полиэтиленполиамин — 13; 2) смола «CH-Epoxy 1200»—90, полиэтиленполиамин — 10; 3) смола ЭД-16—87,5, дибутилфталат — 12,5. Смесь тщательно перемешивают до полного удаления пузырьков воздуха и получения однородной смеси. Для приготовления компаундов с использованием эпоксидных смол ЭД-20 и ЭД-16 их подогревают на песочной или водяной бане до температуры 50° С.

Отливают капы в два приема. Сначала в матричный кап заливают смесь из чистой смолы с отвердителем, приготовленную по одному из указанных выше трех составов, и посредством кругообразных движений капа покрывают всю его внутреннюю поверхность слоем смеси толщиной 2—5 мм. После отвердения нанесенного слоя через 3—4 ч в кап заливают эпоксидную смолу с отвердителем (35%), смешанным с чистым сухим просеянным кварцевым песком (65%).

После окончательного затвердения массы через 12—18 ч кап извлекают из пристроя, промывают его поверхность денатуратом, затем тщательно отполировывают фетром или сукном. Обработанный кап проверяют на соответствие размерам. Изъяны, обнаруженные на его поверхности (пузыри, раковины и другие дефекты), заделывают смолой с последующей обработкой поверхности описанным выше способом.

При литье гипсовых форм в капах из эпоксидной смолы его рабочую поверхность слегка смазывают трансформаторным маслом. Крупногабаритные капы, подверженные деформации, снабжают сотообразным каркасом из древесного волокна. Основание капа целесообразно изготавлять из гипса. Предел прочности при изгибе у капа из эпоксидной смолы до 3 МПа, при ска-

ливании 15 МПа. Оборачиваемость таких капов свыше 1000 раз.

К возможным заменителям гипса также относятся пенопласты на основе эпоксидных смол и пенопласты, пластифицированные виниловыми полиэфирными смолами. Состав пенопластов, ч. по массе: 1) эпоксидная смола 100, отвердитель 10, вспенивающая добавка 4—5, выравниватель 3, катализатор 0,4—0,5; 2) эпоксидная смола 36, отвердитель 36, вспенивающая добавка 14 — 18, выравниватель А 11, катализатор 1,5—1,8.

Отвешенное (по рецепту) количество смолы, выравнивателя и вспенивающего агента перемешивают, добавляют отвердитель и вновь перемешивают в течение 7—10 мин, вводят катализатор и приготовленную смесь заливают в гипсовые формы. Формы плотно закрывают и стягивают специальными зажимами. Вспенивание происходит при комнатной температуре в течение 10—20 мин. Сушат гипсовую форму вместе с отливкой в течение 4—5 ч при температуре 50—60° С. Средняя плотность изделий из пенопласта на основе эпоксидной смолы 0,2—0,3 г/см$^3$, предел прочности при сжатии 3 МПа, при изгибе и растяжении 4 МПа.

**Замена гипса при изготовлении форм.** Внедрение высокопроизводительного оборудования, работающего в полуавтоматическом или автоматическом режиме, интенсификация процессов сушки изделий требует поиска путей улучшения гипсовых форм и продления срока их службы, а также замены гипса на другие материалы для изготовления форм. Исследования по замене гипса другими материалами проводятся в направлениях получения пористого материала на основе пластмасс, в том числе с заполнителем, масс на основе силикатных материалов, затвердевающих в процессе обжига, и масс, затвердевающих без обжига на цементах или органических связках и др. Во всех случаях для получения открытой системы капилляров зерна наполнителя должны смачиваться связующим веществом только в точках соприкосновения; пустоты между зернами наполнителя, образовавшиеся при формировании структуры формы, не должны нарушаться.

Синтетические материалы как заменители гипса используют в качестве связующего порошкообразных минеральных материалов (ГДР, ФРГ, Англия, Франция), основного порошкообразного материала, спекаемого при



агломерации в пористую массу (СССР, ЧССР), и как материалы, образующие пористую структуру путем вымывания химическими реагентами растворимых солей (СССР, зарубежные страны).

Конаковским фаянсовым заводом совместно с Калининским политехническим институтом создана самоотверждающаяся полимерная композиция следующего состава, %: 20,2 эмульсионного полиметилметакрилата с инициатором; 26,6 метилметакрилата с активатором; 4 эмульсионного поливинилхлорида; 22,2 талька; 14 каолина; 13 воды. В качестве основы использована масса АСТ-Т (акрилат самотвердеющий технический), гидрофильными и гидрофобными наполнителями служили тальк, каолин, порошок ПВХ. Масса отверждается после формования при комнатной температуре и давлении 0,02—0,04 МПа. Формы из такой массы имеют чистую рабочую поверхность, повторяющую микрорельеф гипсовой пресс-формы. Усадка форм при отверждении небольшая — 1,5%. Несмотря на то, что водопоглощение пластмассовых форм в 3—4 раза ниже, чем у гипсовых (9—12% против 38—42%), они обеспечивают нормальное формование и сушку изделий (тарелок).

Оборачиваемость форм на основе массы АСТ-Т достигает от 2 тыс. (тарелки диаметром 175—200 мм) до 4 тыс. раз (для более крупных тарелок). Температура сушки форм 90—95° С, их масса в 1,5 раза меньше гипсовых. Производительность формовочно-сушильных линий при использовании новых форм взамен гипсовых повышается на 15%. Замена гипсовых форм на формы из других материалов позволяет создавать более совершенные автоматизированные линии производства изделий из фарфора и фаянса.

*Вопросы для самопроверки*

1. **Какое сырье используется для получения формовочного гипса и каковы процессы, протекающие при его нагревании?**
2. **Какими показателями характеризуется полуводный гипс как материал для изготовления форм?**
3. **В чем особенности приготовления гипсового раствора?**
4. **Каким требованиям должны удовлетворять гипсовые формы?**
5. **Последовательность изготовления гипсовых форм.**
6. **В чем заключается процесс твердения гипсового раствора?**
7. **Материалы-заменители формовочного гвпса при изготовлении форм.**

# ГЛАВА 6. ФОРМОВАНИЕ ИЗДЕЛИЙ

Назначение формования, прессования и литья — придать полуфабрикату определенные форму, размер, плотность и необходимую прочность.

В производстве керамических изделий используют различные способы изготовления (рис. 41). Выбор того или иного способа зависит от вида изделий, их сложности, свойств массы и др.

## 1. Формование изделий из пластичных масс

Формование изделий из пластичных масс в производстве бытовой керамики является основным (94—96% общего выпуска). Оно также широко используется в технологии строительной керамики, химически стойких изделий.

Несмотря на то, что процессы формования изделий бытового назначения наиболее механизированы и автоматизированы, трудоемкость формования плоских изделий составляет еще 16—22% общих затрат, необходимых на их изготовление, а полых изделий — еще больше (включая подвялку, оправку и приставку деталей).

Преимущество пластического формования перед другими способами заключается в возможности формования изделий различного размера, имеющих форму тел вращения, на относительно несложном, но производительном оборудовании. При пластическом формовании изделий наиболее полно используются ценные свойства керамических масс — пластичность и формовочная способность.

Пластическое формование основано на явлении пластической деформации керамической массы под воздействием внешних сил (давления ролика или шаблона). Непременное условие пластического формования — использоваиие достаточно вязких масс, у которых сумма сил внутреннего сцепления (когезия) больше суммы сил сцепления с рабочей поверхностью формующего оборудования (адгезия), а коэффициент внутреннего трения больше коэффициента внешнего трения.

Существенным недостатком пластического формирования является то, что масса, сжимаемая с двух сторон поверхностями формы и формующей головки, устремляется в свободное пространство, приобретая анизотропную текстуру. При таких условиях формования



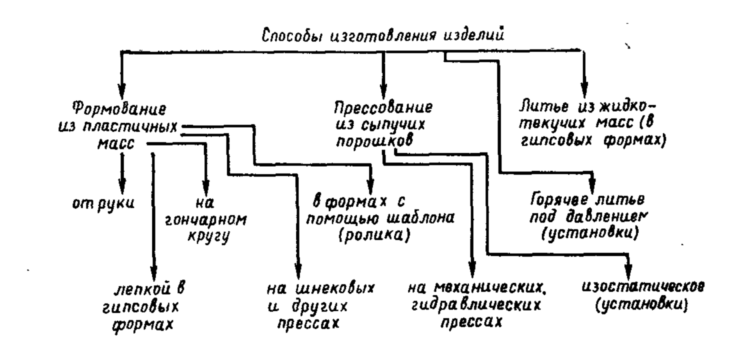



Рис. 41. Способы изготовления изделий

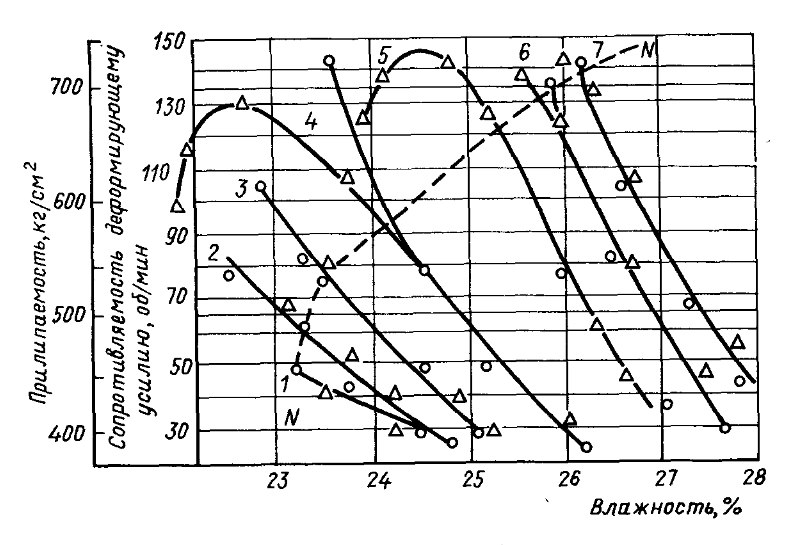



**Рис. 42. Зависимость сопротивлеиия деформирующим усилиям и прилипаемости от влажности масс**

1 — тощая фарфоровая; 2 — нормальная фарфоровая; 3 — пластичная фарфоровая; 4 — очень пластичная фарфоровая; 5 — тощая фаянсовая; 6 — нормальная фаянсовая; 7 — жирная фаянсовая; 8 — сопротивление деформирующему усилию; △ — прилипаемость

плотность и напряжение по всему обрабатываемому объему массы будут различны. Максимальные значения напряжений будут наблюдаться у рабочих поверхиостей, минимальные — на границе массы и свободиого пространства. В этих зонах возникают упругие деформации без разрушения структуры, сохраняющей дефекты, приобретенные на предыдущих операциях (обезво-

живание на фильтр-прессах, вакуумирование), что может вызвать деформацию изделий.

Параметры формования, формовочная способность массы регулируются корректировкой ее состава. При содержании в массе глинистых материалов в количестве, большем оптимального, условия формования изделий ухудшаются в результате повышения прилипаемости массы, так как изменение усилий, затрачиваемых на пластическую деформацию массы, пропорционально относительному изменению ее прилипаемости (рис. 42).

На качество формования изделий большое влияние оказывает величина окружной скорости различных точек изделия в процессе его формования. Оптимальные окружные скорости в точках изделий, максимально удаленных от оси вращения при формовании, не должны превышать для тарелок — 5, для блюдец — 4,15 м/с.

Для различных по составу масс требуется вполне определенная влажность, частота оборотов шпинделя, формующей головки и температура нагревания головки (табл. 7).

Таблица 7 **ОСНОВНЫЕ ПАРАМЕТРЫ ФОРМОВАНИЯ**

| Показатель | Влажность массы, % | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 23 | 23,2 | 23,4 | 23,6 | 23,8 | 24 | 24,2 |
| **Частота вращения, $c^{-1}$:** | | | | | | | |
| **шпинделя** | 5,5 | 4,8 | 4,3 | 3,8 | 3,3 | 3,2 | 3,2 |
| **формующей головки** | 3,3 | 3,2 | 2,8 | 2,5 | 2,2 | 2,2 | 2 |
| **Температура нагревания формующей головки, °С** | 120 | 120 | 130 | 130 | 130 | 140 | 140 |

Для масс с низкой влажностью необходима повышенная частота вращения шпинделей. Слишком высокая частота вращения вызывает появление дефекта «жмотин» на внутренней поверхности тарелок. Оптимальная разность частот вращения шаблона (ролика) и шпинделя 0,8—1,2 $c^{-1}$. При меньшей разности возможно прилипание массы к шаблону, при большей — рыхлость наружной поверхности.



**Формующие ролики снабжены электрообогревателем, обеспечивающим их нагрев в пределах 105—140° С. Ролики из гидрофобных материалов (фторопласта, полиэтилена) нагрева не требуют. Более высокая температура нагревания формующей головки может быть** причиной рыхлости наружной поверхности изделия, тогда как низкая (менее 90° С) вызывает прилипание пласта к поверхности формующей головки.

Использование формовочных роликов позволяет формовать тонкостенные полые изделия, повышает их устойчивость к деформациям при обжиге и просвечиваемость, а также уменьшает возможность образования неровностей на поверхности. При формовании роликом производительность труда повышается на 30%. В производстве тарелок с помощью роликовой головки продолжительность сушки уменьшается на 10—15% в результате использования массы меньшей влажности.

Различные шаблоны и профильные ролики по-разному действуют на формуемую массу. Шаблон простой воздействует на массу по контуру формуемого изделия, одновременно уплотняя и разравнивая (срезая) излишек массы. Главное усилие затрачивается на срезание излишка массы и незначительное — на уплотнение ее (рис. 43, *а*). Для получения гладкой поверхности при недостаточном уплотнении массы необходимо, чтобы влажность ее была равна 23—25%, а заготовка в процессе формования увлажнялась водой.

Использование утолщенных шаблонов (рис. 43, *б*) улучшает условия формования, так как при этом достигается большое уплотнение массы и меньшие усилия затрачиваются на срезание ее излишка. Влажность заготовки может быть снижена на 1,5—2%, исключается увлажнение заготовки при формовании. Наибольшее уплотнение массы достигается при раскатывании ее в процессе формования профильным роликом (рис. 43, *в*). Увлажнение пласта не требуется, так как ролики оборудованы электронагревателями. Использование профильных роликов позволяет изготовить изделия любого вида при высоком качестве формования (рис. 44).

Правильный выбор размера заготовок способствует повышению качества формования и снижает расход массы. Для тарелок диаметром 200—240 мм рекомендуются заготовки диаметром 120—130 мм, а для тарелок диаметром 150—175 мм и блюдец — 80 мм.

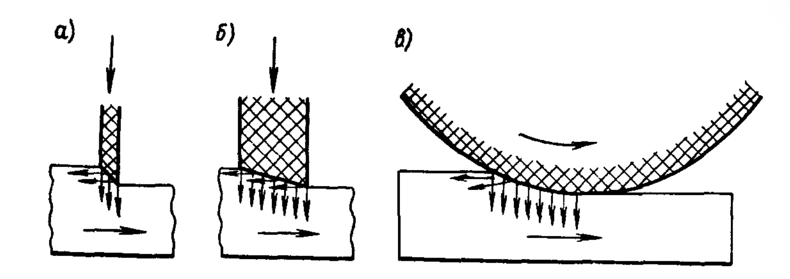



**Рис. 43. Схема воздействия на массу формующим инструментом**
*а* — тонким (7—10 мм) шаблоном; *б* — утолщенным (20—30 мм) шаблоном; в — профильным роликом

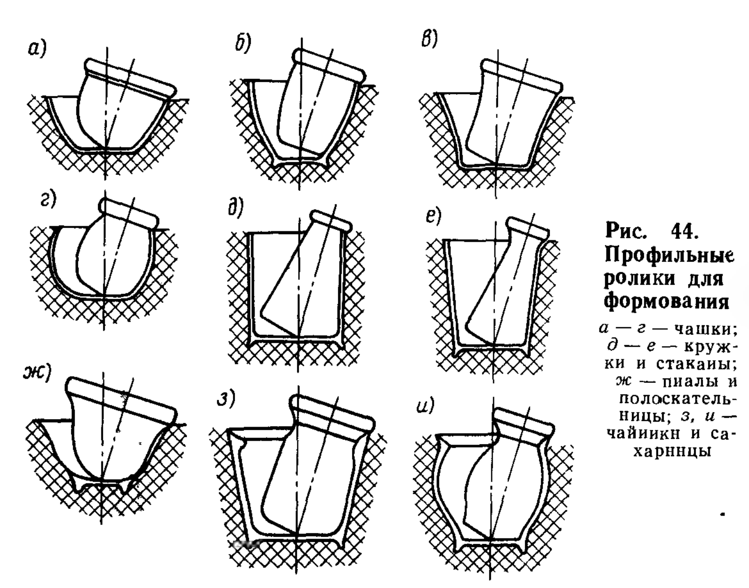



**Рис. 44. Профильные ролики для формования**
*а — г* — чашки; *д — е* — кружки и стаканы; *ж* — пиалы и полоскательницы; *з, и* — чайники и сахарницы

Для формования плоских фарфоровых и фаянсовых изделий широко используют полуавтоматы ПТ-5 и ПТ-6. Эти полуавтоматы отличает одностадийность формования плоских изделий обогреваемым роликом вместо шаблонов. Электроподогрев осуществляется нихромовыми спиралями, уложенными в пазах диска в керамической изоляции (рис. 45). На базе указанных полуавтоматов созданы новые полуавтоматы более совершенных конструкций: АСФ-05, АСФ-06, АСФ-07, АСФ-08, а для формования полых изделий — роторные полуавтоматы ФАП-18 и ФАП-22.



Полуавтомат АСФ-07 предназначен для формования плоских изделий (тарелок диаметром 240 мм) и является усовершенствованной моделью полуавтомата ПТ-6.

Уникальные роторные полуавтоматы ФАП-18 и ФАП-22 для формования полых изделий — двухшпиндельные, снабженные роликовыми шаблонами из фторопласта. Формование изделий производится одновременно на двух позициях при повороте восьмигнездного стола на 1,8 радиана. Цикл формования 10 с. Для фор-

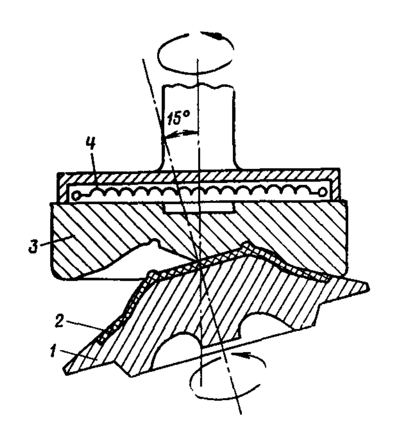



**Рис. 45. Схема формования плоских изделий роликовым шаблоном**
*1* — гипсовая форма; *2* — масса; *3* — ролик; *4* — нагревательные элементы

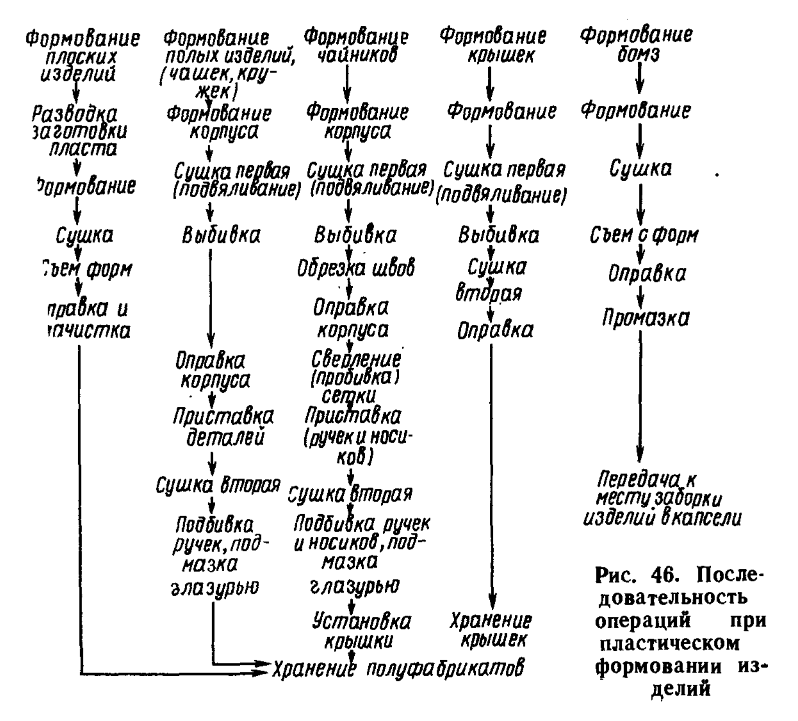



**Рис. 46. Последовательность операций при пластическом формовании изделий**

мования крышек чайников и сахарниц используют полуавтомат ФАК-19 производительностью до 12 тыс. изделий в час.

Для формования чашек также используют одношпиндельные полуавтоматы типа К/ДВ$_e$Д$_1$ и К/ДВ$_e$Д («Тюрингия», ГДР) производительностью 300—900 чашек в час и более совершенные модели К/ДSA производительностью 1,2—1,6 тыс. чашек в час, а для формования тарелок — полуавтоматы типов К/ДТ$_e$Д$_1$, К/ДSA производительностью 300—650 шт. в час. Полуавтоматы комплектуются с сушилками и составляют основу поточных линий. На заводах для формования изделий также используют полуавтоматы фирм «Нетчш», «Дорст», «Цейдлер» (ФРГ), «Сервис Инжинирс» (Англия) и др.

Новый метод пластического прессования изделий разработан фирмой «Рам» (США). По этому методу изготовляют хозяйственный фарфор и полуфарфор, электрофарфор, химический фарфор и другие изделия. Для формования используют гидравлический пресс мощностью 90 т с удельным давлением прессования 20,7 МПа/см$^2$ и скоростью прессования 0,02 м/с. Метод обеспечивает высокое качество изделий и снижает отходы на всех последующих стадиях производства.

Последовательность технологических операций пластического формования в зависимости от вида изделий приведена на рис. 46, а операций при формовании тарелок на полуавтомате при агрегатном способе производства и на механизированных линиях — соответственно на рис. 47 и 48.

Производительность линии при ее работе по I варианту 1200 изделий в час при расходе электроэнергии до 80 кВт·ч, горячего (70—95° С) воздуха — 60—65 тыс. м$^3$/ч и продолжительности одностадийной сушки около 30 мин. При двухстадийной сушке температура теплоносителя в первой сушилке равна 60—70° С, во второй 105—110° С.

Последовательность операций при изготовлении чашек и кружек на автоматизированных линиях приведена на рис. 49.

Влажность корпусов чашек и кружек после первой сушки 14—16%, после второй — не более 2%. В зависимости от условий сушки (одно- или двухстадийная) изделия, подвяленные до 12—18% или высушенные до



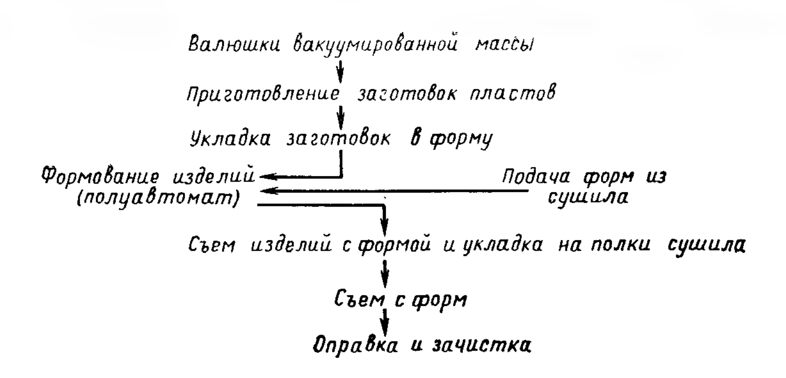



**Рис. 47. Последовательность формования тарелок при агрегатном способе производства**

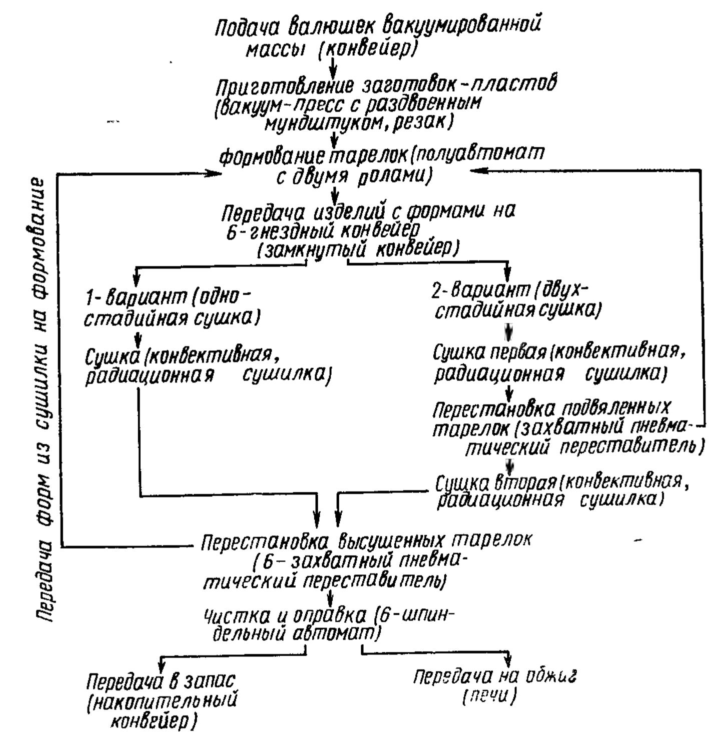



**Рис. 48. Последовательность формования тарелок на механизированных линиях**

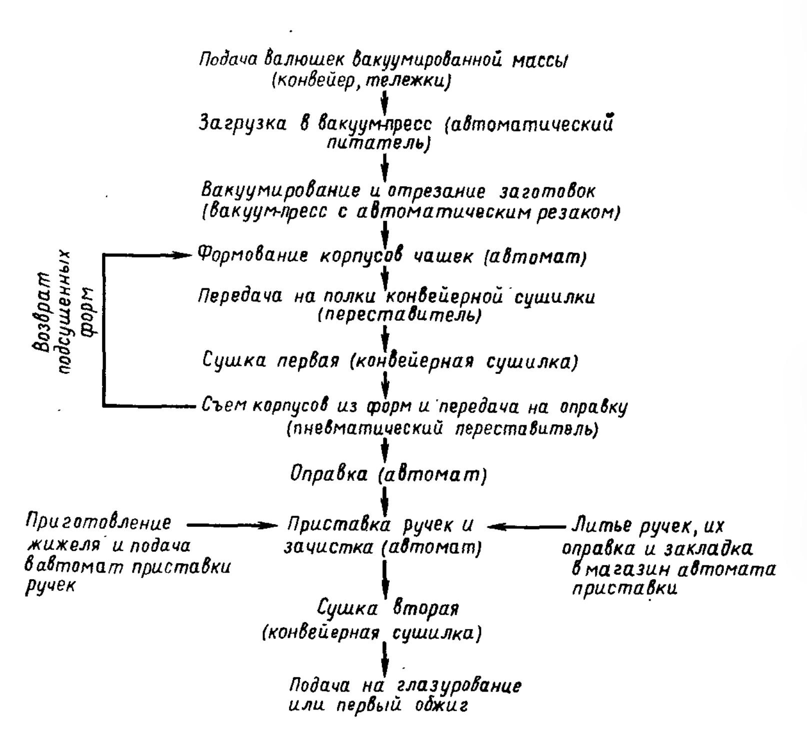



**Рис. 49. Последовательность изготовления чашек и кружек на автоматизированных линиях**

2—5% влажности, оправляют и приставляют к ним детали (ручки, носики).

**Оправка и зачистка.** Оправка изделий заключается в снятии заусенцев и неровностей на их поверхности, обдувке и зачистке влажной губкой. Оправка полых изделий более трудоемка, чем плоских: первоначально срезают швы на поверхности изделий, оправляют края, заглаживают влажной губкой поверхность. Выполняют оправку сухим (плоские изделия, тонкостенные чашки) или влажным (полые изделия) способами. При сухой оправке плоские изделия высушивают до 5% влажности, а затем обрабатывают по краю и лицевой стороне сухим абразивным материалом. При этом выделяется много пыли, увеличивается бой сухих изделий, использование автоматов малоэффективно. По этой причине сухая оправка плоских изделий уступила место влажной (влажность 12—18%).



Одновременно с оправкой в корпусах чайников и кофейников проделывают отверстия (сетку) при помощи сверлильного или пробивочного приспособления.

Приставные детали — ручки, носики и т. д. изготовляют способом литья в многогнездных двусторонних гипсовых формах с центральным каналом. Носики отливают сливным методом, ручки — наливным.

Ручки и носики приставляют обычно к сырому черепку с влажностью 12—19% и реже к сухому с влажностью 1,5—2%, т. е. после окончания сушки. В первом случае необходима дополнительная подсушка изделий после приставки деталей. Обязательное условие — корпуса изделий и приставные детали должны иметь примерно одинаковую влажность, разница не должна превышать 2%.

Ручки и носики приклеивают к корпусам изделий клеем жижелем, приготовленным из загустевшего шликера 30—33%-ной влажности или сушья (отходов), глазури с добавкой 1—2% декстрина или карбоксиметилцеллюлозы (КМЦ) 6—8%-ной концентрации. До использования жижель должен выстоять не менее двух недель. Влажность жижеля 30—32%. Приставные детали должны хорошо прилегать к поверхности корпуса изделия.

Качество приставки деталей во многом зависит от прочности корпуса полуфабриката, характеризуемой сопротивлением излому: для фарфора — 2—2,5 МПа, фаянса — 4—6 и низкотемпературного фарфора — 3,5—5 МПа. Если указанная прочность полуфабриката в условиях агрегатно-поточного производства является достаточной, то в условиях автоматизированного производства она должна быть повышена на 40—50% за счет ввода в массу изделий бентонита, сульфитно-спиртовой барды, карбоксиметилцеллюлозы.

Приставка ручек к корпусам чашек выполняется как вручную, так и на полуавтоматах фирм «Дорст», «Нейтчш» (ФРГ), «Сервис Инжинирис» (Англия) и др. Производительность полуавтоматов 7—8 тыс. изделий в смену.

Полые изделия (чашки, кружки), обжигаемые в спаренном виде, после оправки и приставки ручек склеивают попарно клеем на основе КМЦ или поливинилового спирта и направляют на обжиг. Оправка и зачистка изделий должны выполняться, как правило, влажным способом.

**Дефекты формования.** Пороки пластического формования являются результатом несовершенства методов формования, оборудования и недостаточной гомогенности массы.

*Трещины* возникают при неоднородной влажности массы, использовании тощих масс, недостаточном помоле каменистых компонентов массы, неравномерном увлажнении пласта при его разводке, неправильном режиме формования, преждевременной выбивке полых изделий из формы, завышенной частоте вращения шпинделя, неисправности шаблона, плохом вакуумировании, слишком тонком помоле массы и пониженной ее влажности.

*Морщины* («жмотины») появляются при излишке подаваемой на пласт воды (при формовании шаблоном), выработке подшипников вала шпинделя, заниженном числе оборотов шпинделя, накладке пласта на вращающуюся форму, плохой подготовке массы, чрезмерно пересушенных гипсовых формах.

*Разнотолщинность* формовок возникает при использовании изношенных форм, биении вала шпинделя и форм в формодержателе, неправильной калибровке форм.

*Звездочки* на дне изделий образуются при неправильном ходе полуавтомата и использовании массы с пониженной влажностью.

*Концентрические круги* на изделии возможны при выработке шаблона или ролика (формующей головки), *а языки («лизуны»)* возникают при преждевременном подъеме шаблона.

*Деформируются изделия* при использовании заготовок из плохо подготовленной массы и малом их размере; при чрезмерной растяжке заготовки при формовании, а также при отклонениях во влажности массы; деформированных формах и преждевременной выбивке изделий из формы; кривых бомзах; повышенном содержании глинистых компонентов в массе, зыбкости массы; слишком влажных формах и прилипании изделий к формам; изношенных формах, неравномерном высушивании форм, засоренности гипса посторонними примесями, приводящими к выкрошиванию поверхности форм.

*Заусеница* края или ножки возникает при неправильном срезе излишка массы или при использовании заготовок малого размера и недостаточном увлажнении.



*Раковины и бугры* на поверхности изделий образуются при использовании изношенных форм с нечистой поверхностью или вследствие плохой очистки их перед формованием.

*Провисание* или выпуклость дна возможны при неправильной установке шаблона или ролика, неправильной конструкции изделия.

*Борозды и царапины* образуются при наличии в массе крупных частиц, пользовании грубой стеклянной или наждачной бумагой, неаккуратном обращении с резаком и др.

*Вопросы для самопроверки*

1. **Охарактеризуйте особенности пластического формования изделий.**
2. **Основные параметры пластического формования: влажность массы, частота вращения шпинделя и формующего ролика, температура и др.**
3. **Характеристика формовочного оборудовання.**
4. **Основные требования к оправке изделий и приставке деталей.**

## 2. Формование литьем

Отливка изделий в гипсовых формах имеет ряд преимуществ перед пластическим формованием: сокращается производственный цикл обезвоживания массы в результате устранения фильтрации и переработки массы, появляется возможность транспортировать шликер на любые расстояния и изготовлять тонкостенные изделия, отпадает необходимость в бомзах для чашек и др. На фарфоровых изделиях, отлитых в гипсовых формах, лучше, чем на изделиях, изготовленных формованием, проявляются такие ценные свойства, как просвечиваемость, повышенная белизна (с красивым голубоватым оттенком), легкость и ажурность форм, высокие эстетические качества. Кроме того, при отливке изделий можно использовать малопластичные массы. Существенные недостатки формования изделий способом литья: высокая трудоемкость, тяжелые условия труда, необходимость использования электролита и значительных производственных площадей, быстрый износ гипсовых форм, существенные возвратные отходы, отсутствие высокопроизводительного оборудования — привели к резкому сокращению литья изделий на заводах (4—6% общего объема выпуска изделий).

**Шликерное литье** основано на способности компонентов массы давать устойчивые суспензии в водной среде, на реологических свойствах шликеров и на поглощении воды из шликера порами гипсовой формы благодаря действию капиллярных сил с образованием на ее поверхности твердого слоя массы. Способность шликера заполнять гипсовую форму обусловлена его текучестью, а воспроизводить конфигурацию формы — его литейной способностью. Вода как жидкая фаза и электролиты придают шликеру требуемые свойства.

Механизм набора стенки изделия заключается в осаждении твердой фазы шликера на внутренней поверхности гипсовой формы при одновременном поглощении жидкой фазы порами формы. Скорость набора стенки изделия зависит от скорости поглощения формой жидкой фазы шликера (проницаемость гипсовой формы составляет $2{,}5\cdot10^{-9}$—$6\cdot10^{-11}$ л/см$^2$), гранулометрического состава твердой фазы, соотношения твердой и жидкой фаз, а также от скорости диффузии воды из шликера слоем массы, образовавшегося на гипсовой форме (проницаемость сформировавшегося слоя $(2{,}4$—$3)\cdot10^{11}$ л/см$^2$). Этот слой нарастает пропорционально корню квадратному из времени набора стенки изделия. Пористость (42—47%) и средний размер пор ($0{,}38\pm\pm0{,}01$ нм) в образовавшемся слое не зависят от структуры гипсовой формы. Процесс образования слоя массы на гипсовой форме обеспечивает капиллярное давление, создающее мениски воды в порах гипсовой формы.

В процессе фильтрации участвуют поры наименьшего диаметра (0,3—0,45 нм), а также более крупные поры (до 1 нм). Скорость набора черепка возрастает (при том же среднем размере пор) с увеличением пористости гипсовой формы (рис. 50) и обусловлена главным образом сопротивлением образовавшегося слоя массы, так как сопротивление гипсовой формы капиллярному давлению незначительно. Скорость образования слоя массы при возрастающей пористости формы и зависимость этой скорости от средних размеров пор в форме достигают максимума при таком размере пор, при котором проницаемость слоя становится равной проницаемости формы. Структура гипсовой формы не определяет структуру сформировавшегося слоя массы. Скорость поглощения жидкой фазы шликера пористыми стенками



формы должна быть выше или равна скорости подхода ее к поверхности формы. При значительном опережении скорости поглощения воды формой на наружной стороне отливки образуется более уплотненный слой, чем в остальной части, что связано с возникновением внутренних напряжений, возможностью отслаивания от стенки формы и появления трещин. При запаздывании поглощения воды формой она накапливается в ее поверхностных слоях, что приводит к размыванию формы и прилипанию изделий к ней.

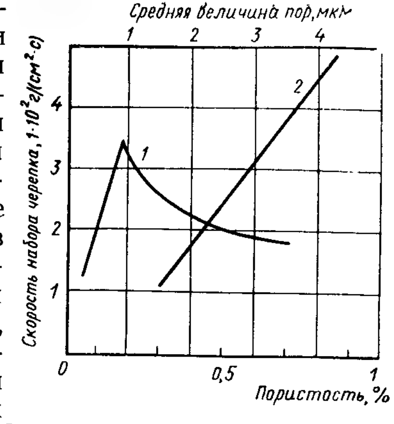



**Рис. 50. Зависимость скорости набора массы от средней величины пор (1) и пористости (2) гипсовой формы**

Гранулометрический состав твердой фазы шликера также влияет на скорость набора стенок изделий. Она будет выше, если поверхностный слой изделия образуется из частиц, не дающих плотной упаковки. Однако повышенное содержание крупных частиц способствует чрезмерному возрастанию скорости набора стенок, что приводит к разнотолщинности изделий и затрудняет регулирование процесса набора стенок изделия. При повышенном содержании в шликере тонкодисперсных фракций резко снижается скорость набора стенок изделия и возможно прилипание отливки к форме.

Нарастание прочности образовавшегося слоя массы в гипсовой форме обусловливается тиксотропным образованием структуры под действием флокуляции, вызываемой миграцией ионов $Ca^{2+}$ из гипсовой формы в шликер, а также вследствие отбора влаги порами формы под действием капиллярных сил. Глинистые частицы в наружной части отливки располагаются так, что их большие плоскости размещаются параллельно поверхности, через которую проходит фильтрация, т. е. ориентированно, а внутри отливки — неориентированно. Такая структура отливок предопределяет анизотропию усадки при сушке, порождающую внутренние напряже-

ния и нередко вызывающую коробление и трещиноватость полуфабриката. Разность усадочных напряжений по направлениям обусловливается различием толщины водных пленок между примыкающими одно к другому ребрами частиц, а также склонностью более плотных участков слоя к упругим, а не пластическим деформациям. Ориентированное положение глинистых частиц, возникшее в процессе набора стенки изделия при литье, сохраняется и в обожженном изделии, что фиксируется ориентированным положением муллитовых новообразований. Такая структура понижает прочность изделия.

Частичному устранению ориентированной структуры отливки способствует применение жидкотекучих шликеров при неизменном содержании в них твердой фазы, что достигается использованием соответствующих дефлокулянтов (разжижителей). С этой же целью повышают содержание отощающих компонентов в массе.

В результате поглощения воды шликера формой образовавшийся слой уплотняется, изделие дает усадку при снижении влажности до 18—20% и отделяется от стенки, что облегчает извлечение его из формы.

Подогревание форм до 60° С более чем в 2 раза ускоряет набор стенки изделий в результате увеличения текучести шликера. В этих температурных условиях толщина слоя массы пропорциональна повышению температуры.

При повышении давления корость набора черепка также возрастает. На этом основано литье изделий под давлением. При давлении до 0,5 МПа снижается усадка изделий при сушке, а также влажность отлитых изделий на 2—3%, ускоряется сушка изделий, отпадает необходимость в сушке гипсовых форм, так как под давлением процесс набора слоя зависит не от отсоса воды формой, а от величины давления. Влажность шликера при этом снижается на 2—3%.

Вакуумирование гипсовых форм способствует также значительному (в 2—4 раза) уменьшению времени набора стенок изделий.

Применение вибрации при литье изделий (3000—6000 колебаний в минуту) и обработка шликера ультразвуком (частота колебаний 20 кГц) на 1—2% снижают вязкость шликера, влажность отливок и на 15—20% повышают их прочность. Предельное напряжение сдвигу возрастает на 10—30%, а предел прочности при



изгибе после сушки — на 20%. Вибрация улучшает структуру изделий, уменьшает возможность образования раковин в отливках благодаря ускоренному набору стенок изделия. Основной ассортимент изделий, изготавливаемых литьем: тонкостенные полые изделия (сервизные чашки), изделия больших размеров или сложной формы (суповые вазы, подливочники, соусники, овальные блюда, скульптура и др.), а также приставные детали (ручки, носики).

**Способы литья.** Отливают изделия вручную на литейных столах, механизированных установках и на литейных полуавтоматах.

Известны следующие способы формования литьем: наливной, сливной и доливной (комбинированный). При *наливном* способе набор стенок изделия осуществляется между двумя стенками гипсовой формы. Шликер непрерывно доливают в форму до полного заполнения ее массой.

Влажность шликера при стендовом наливном способе литья изделий 31—34% (без бентонита) и 38—40% (с вводом в массу бентонита), при литье на полуавтоматической конвейерной линии 29—30%, текучесть 10—15 с, загустеваемость через 30 мин — 1,3—2 ед. Этим способом изготовляют комплектные изделия с большой толщиной стенок (овальные блюда, селедочницы, детали ручек и т. д.). Для литья наливным способом требуются формы сложной конфигурации (рис. 51). При наливном способе изделия не имеют разнотолщинности стенок, а влажность и расход шликера минимальны.

При *сливном* способе шликер, налитый в форму, сливают после набора стенок изделия требуемой толщины. Набор стенки осуществляется односторонне — внутренней поверхностью гипсовой формы. Шликер должен иметь повышенную текучесть 15—20 с и влажность 33—42%. При заливке шликера в форму необходимо следить за тем, чтобы струя шликера не била в стенку формы, не «захватывала» воздух. Шликер должен равномерно без вспенивания заполнять форму. Это достигается при использовании специального наконечника — литейного конуса (рис. 52), прикрепляемого к резиновому шликеропроводу.

Последовательность технологических операций, выполняемых при наливном и сливном способах литья изделий, приведена на рис. 53.

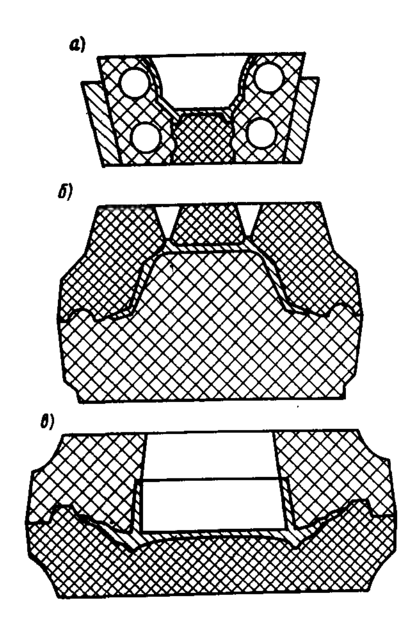



**Рис. 51. Гипсовые формы для отливки**

*а* — наливным способом; *б* — сливным; *в* — комбинированным

**Рис. 52. Литейный конус**

*1* — подача шликера; *2* — резиновый шликеропровод; *3* — соединительная муфта; *4* — выпуск шликера; *5* — отверстия конуса; *6* — конус

При наливном способе отливки особое внимание уделяют правильной сборке форм и промазке каналов в форме, по которым поступает шликер. Для промазки используют смесь из 30% минерального масла и 70% стеарина. Наливной способ более сложен и трудоемок из-за необходимости использования разборных форм.

Сливной способ проще, однако шликера расходуется больше, толщина стенок неравномерна, так как набор черепка происходит односторонне. Используют сливной метод для литья мелких тонкостенных изделий, в том числе носиков на литейных автоматах и поточных линиях производства чашек, чайников, кувшинов и др.

При *доливном* способе сначала отливают приставные детали (ручки), затем их собирают в составной гипсовой форме и доливают шликер для окончательного оформления изделия, например, корпуса чайника. Этот способ применяют редко.

Изделия с поддонов снимают при снижении их влажности до 17—18%. В зависимости от вида изделий суш-



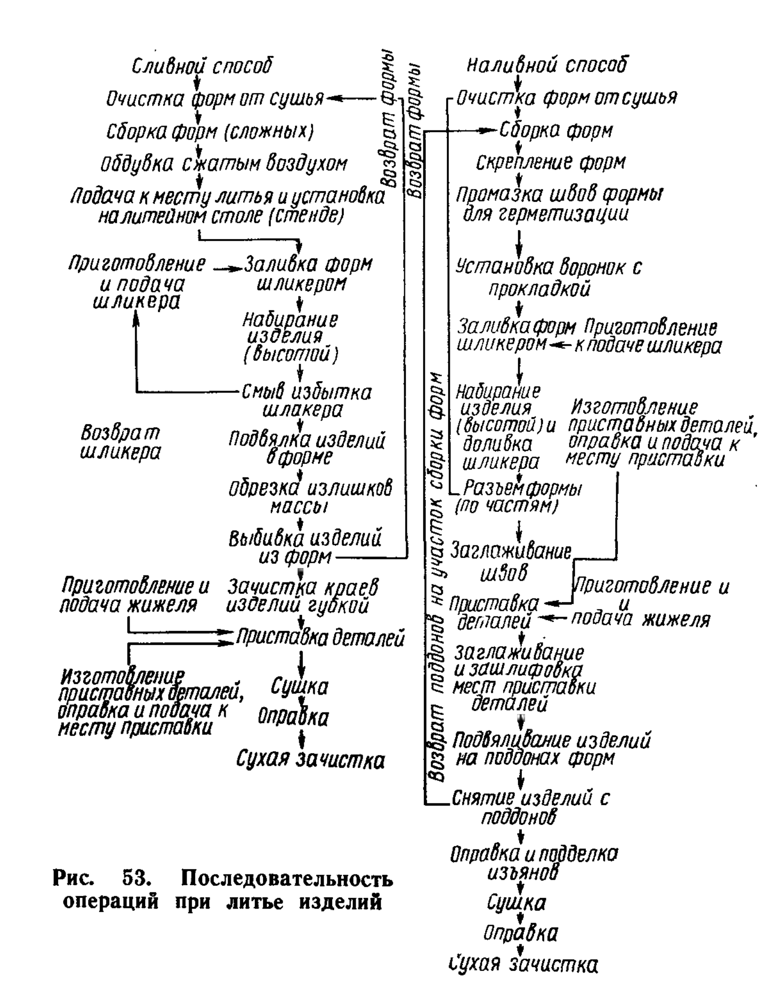



**Рис. 53. Последовательность операций при литье изделий**

ка может осуществляться в две стадии: подвялка до влажности 14—16% плоских и 16—18% полых изделий, оправка, приставка деталей и затем окончательная сушка до влажности не более 2%.

Значительные работы по созданию литейных полуавтоматов выполнены во ВНИИФ. Разработано несколько моделей литейных полуавтоматов для литья фарфоровых чашек: однорядный и двухрядный карусельные полуавтоматы и четырехструйный автомат. Принципиальной особенностью этих моделей является то, что подача и точная дозировка шликера в формы осуществляется

6 Зак. 334

вакуумным дозатором. Избыточный шликер отсасывается из форм также с помощью вакуума, затем возвращается в питатель дозатора и используется в дальнейшем в смеси со свежим шликером.

Четырехструйный автомат (рис. 54) состоит из 16-позиционного карусельного стола, получающего прерывистое вращение от механизма в виде мальтийского креста, четырехструйного дозирующего и четырехструйного отсасывающего устройства. На каждой позиции стола *7* в специальных четырехгнездных формодержателях *6* устанавливаются гипсовые формы *8*. Шликер из резервуара с мешалкой *5* по гибкому шлангу *2* подается в дозатор *1* и затем одновременно в четыре гипсовые формы вместимостью 360—500 см³ каждая. При повороте стола формы, залитые шликером, поступают на позицию *10* отсоса излишка шликера, который удаляется из формы благодаря вакууму, после чего шликер по шликеропроводу *9* поступает в мешалку *5* для повторного использования. Клапаны *12* служат для подключения дозирующего и отсасывающего устройств гибким шлангом *3* с вакуум-насосом *4*. Через клапаны 11 дозирующее и отсасывающее устройства сообщаются с атмосферой.

За 2 мин до поступления залитых шликером форм на позицию отсоса излишка шликера происходит набор стенок толщиной 1,4—1,6 мм, а до подхода на позицию выемки формы — их закрепление. Далее форма с изделием передается в сушилку. Производительность агрегата составляет 480—600 чашек в час, установленная мощность электродвигателей 6, нагревателей 15 кВт.

Отлитые изделия подвяливают в формах, выбивают из форм и подвергают оправке при влажности плоских изделий 11—18%, полых изделий — 16—18%.

Гипсовые формы регулярно сушат до влажности около 8% при механизированной и до 10% — при ручной отливке.

Приставляемые детали — ручки, носики и т. д. изготовляют методом многосерийной отливки в многогнездных двусторонних гипсовых формах с центральным каналом. Операции отливки выполняют на механизированных установках, а также вручную на литейных столах. Последовательность технологических операций изготовления и приставки ручек к изделиям приведена на рис. 55.



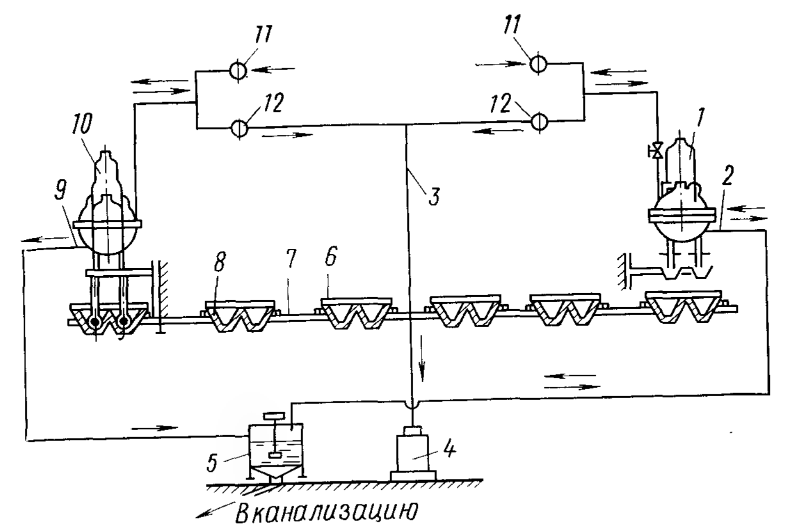



**Рис. 54. Схема четырехструйного литейного автомата**

*1* — дозирующее устройство; *2* — гибкий шланг для подачи шликера в дозатор; *3* — гибкий шланг; *4* — вакуумный насос; *5* — резервуар для шликера; *6* — формодержатель; *7* — стол с формами; *8* — гипсовые формы; *9* — гибкий шланг для возврата шликера; *10* — отсасывающее устройство; *11*, *12* — клапаны дозирующего и отсасывающего устройств

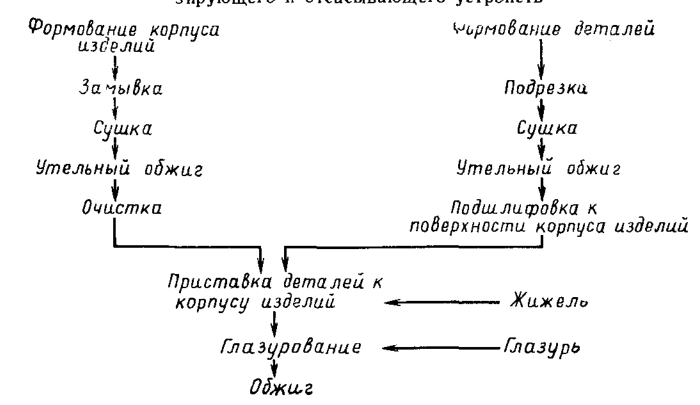



**Рис. 55. Последовательность операций изготовления и приставки ручек к изделиям**

Приставка деталей к корпусу изделия, обожженному на утель, имеет свои особенности и выполняется в последовательности, приведенной на рис. 56.

**Дефекты литья.** При литье изделий возможны следующие дефекты.

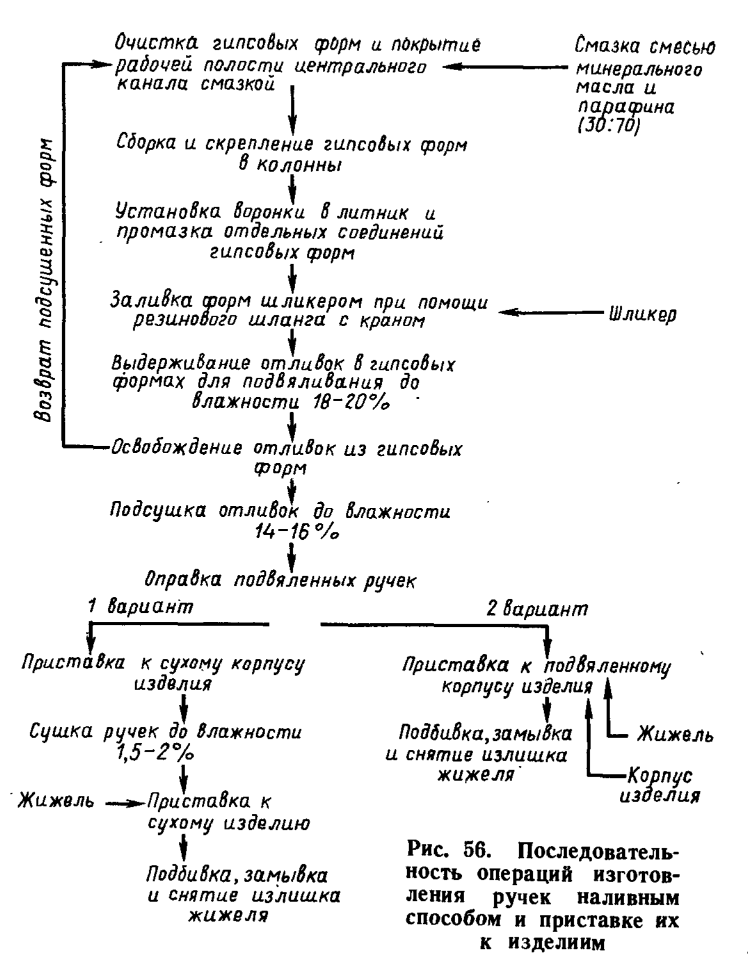



**Рис. 56. Последовательность операций изготовления ручек наливным способом и приставке их к изделиим**

*Литейные пятна* появляются в местах удара струи шликера о стенку гипсовой формы. Их образованию способствуют: повышенное давление подачи шликера и его чрезмерная текучесть, увеличенная высота заливки шликера в форму, пониженная влажность гипсовой формы, повышенное содержание в шликере глинистых материалов и полевого шпата. В литейных пятнах наблюдается расслоение черепка изделий.

*Наколы и пузырьки* на изделиях могут образовываться при быстрой заливке шликера в форму и его вспенивании, а также при отсутствии вакуумирования



шликера. Струя шликера должна быть короткой и широкой, что достигается использованием специальных наконечников. Давление струи не должно превышать 0,015 МПа.

*Полосность* появляется при недостаточной текучести шликера, неправильной заливке и неравномерной пористости формы, а также в местах ее сужения.

*Неоднородность* структуры черепка возникает при использовании шликера, склонного к коагуляции, а также при излишнем содержании в нем воды.

*Неравномерность* толщины изделий образуется при медленном сливе шликера из формы при сливном способе, а также при неправильном изготовлении и сборке форм при наливном способе.

*Выплавки* образуются при нарушении условий отливки гипсовых форм и их эксплуатации, от чего возможно засорение отливки выкрошивающимися кусочками гипса.

*Деформация* изделий из-за недостаточной прочности может возникнуть при преждевременном извлечении их из форм, нарушении принятого рецепта массы, излишней влажности шликера.

*Трещины* после сушки появляются в результате недостаточной пластичиости массы, а также из-за разной воздушной усадки в местах резкого перехода от одной толщины стенки к другой. Трещины также образуются при заливке форм с перерывами, при отливке в очень сухие или влажные формы, наличии пузырьков воздуха в начале использования новых гипсовых форм, а также свежеприготовленного шликера.

**Горячее литье изделий под давлением** способствует расширению сырьевых ресурсов промышленности, так как позволяет использовать тощие, непластичные массы, исключает необходимость ввода в массы бентонита, химических добавок, обеспечивает высокую прочность полуфабриката и стабильность размеров изделий, в 2—3 раза снижает трудовые затраты на изготовление и сокращает число технологических операций (рис. 57).

Для горячего литья под давлением 0,2—0,4 МПа характерно образование промежуточной системы (литейного шликера) из тонкодисперсного порошка и технологической связи (парафина). Агрегатное состояние промежуточной системы определяется не количеством технологической связки, а температурными условиями:

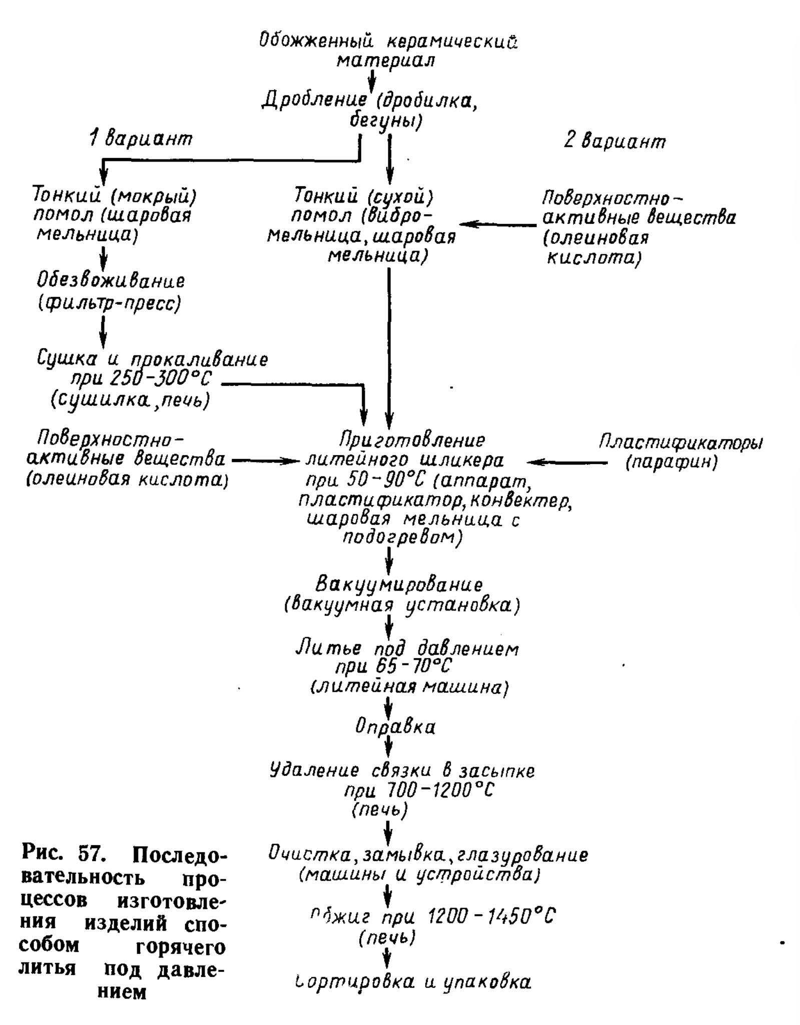



**Рис. 57. Последовательность процессов изготовления изделий способом горячего литья под давлением**

твердое состояние до 35—40° С, жидкое — от 60° С и выше.

Преобразование полуфабриката в готовое керамическое изделие происходит в два этапа: сначала обжигом удаляется технологическая связка, а затем после оправки и глазурования при более высоких температурах наступает спекание материала изделия. Способ горячего литья под давлением не нашел применения в производстве фарфоровой и фаянсовой посуды. Его используют



преимущественно в производстве электротехнических изделий и изделий технической керамики.

## 3. Прессование изделий

Изготовление изделий способом прессования порошкообразной массы (из пресс-порошков) широко используется в производстве строительной и технической керамики, но еще не нашло применения в производстве бытовой керамики в нашей стране, несмотря на то, что проведенные исследования и опыт отдельных зарубежных фирм («Дорст», «Нетчш», ФРГ) подтверждают его целесообразность.

Полусухое прессование изделий имеет ряд преимуществ перед пластическим формованием: устраняется длительный и сложный процесс сушки полуфабриката, сокращается производственный цикл, изделия имеют правильную форму и более точные размеры, а также значительно меньшую усадку при обжиге.

**Параметры прессования.** Структурно-механические свойства изделий, изготовленных полусухим прессованием, формируются в период уплотнения пресс-порошка при прессовании и закрепляются при обжиге. Уплотнение порошкообразной массы при прессовании сопряжено с преодолением сил внутреннего трения между частицами и необходимостью удаления воздуха, препятствующего уплотнению и связыванию частиц при относительно малой влажности массы — обычно 8—12%.

Уплотнение пресс-порошков сопровождается процессами, в которых участвуют все фазы: твердая (минеральные частицы), жидкая (вода) и газообразная (воздух). В начальной стадии прессования твердые частицы перемещаются в разных направлениях, разрушаются крупные поры и арки (мостики), образовавшиеся из зерен в момент заполнения формы, частично удаляется воздух. Увеличивается контактная поверхность между зернами порошка.

С повышением давления происходит дальнейшее уплотнение частиц и их деформация (пластическая, хрупкая, упругая). Влага с глинистых коллоидов выжимается с глубинных слоев на контактную поверхность частиц, цементируя их. В местах контакта зерен происходят необратимые деформации. При этом не успевший удалиться воздух защемляется между зернами порошка

и сжимается. При дальнейшем уплотнении порошка перемещение зерен происходит по их увеличенным контактным поверхностям, имеющим водные пленки, возможно частичное разрушение поверхности зерен в местах выступов и на углах. Упругое сжатие воздуха нарастает, и наступает упругая деформация тонких удлиненных частиц, пропорциональная действующим напряжениям. На последней стадии прессования изделие наиболее уплотняется вследствие дальнейшего развития контактных поверхностей.

При уплотнении порошков эти процессы протекают быстро, они как бы накладываются друг на друга, что существенно затрудняет их регулирование. Качество прессования изделий зависит от свойств порошка и режима прессования.

Правильный подбор зернового состава обеспечивает минимальное содержание воздуха в порошке (обычно до 30%), наименьшую среднюю плотность изделия при наивысшей их прочности.

При повышенном содержании крупных зерен, наличии зерен шамота, песка порошок становится сыпучим, при прессовании из него легче удаляется воздух, порошок уплотняется более равномерно, но при этом требуется повышенное давление. Тонкие фракции увеличивают вязкость и уменьшают подвижность порошков, затрудняют прессование ввиду медленного удаления воздуха, увеличивают неравномерность уплотнения и среднюю плотность, а также возможность расслоения изделий.

Влага уменьшает силы внутреннего трения при прессовании, способствует большему сцеплению частиц и уплотнению порошка, снижает прессовое давление, повышает качество сырца и готовых изделий. Прессование порошков пониженной влажности 5—8% сопровождается неоднородностью уплотнения по высоте изделий. Повышение влажности до 13—16% нецелесообразно, так как это вызывает необходимость сушки полуфабриката и интенсивную осадку порошков при относительно небольшом прессовом давлении. При прессовании изделий из неравномерно увлажненного порошка создается рыхлая, неоднородная структура и возникают мелкие трещины на поверхности изделий.

Прогрев порошка (70—90° С) ускоряет процесс гидратации зерен, повышает его пластические свойства,



способствует снижению прессового давления и получению полуфабриката более высокого качества, сокращает продолжительность сушки изделий, уменьшает их растрескивание, снижает износ пресс-форм и расход мощности. Считается, что нагрев массы при прессовании на каждые 10° С равноценен повышению ее влажности на 1%.

Вакуумирование порошка способствует снижению количества воздуха, уменьшает упругое расширение полуфабриката на 20—50% (снижается до 1,7—2,8%) и прессовое давление до 14,7—17,6 МПа, улучшает качество изделий.

Режим прессования характеризуется продолжительностью прессования, условиями приложения давления (одно- или двустороннее), его характером (мгновенное, переменное, нарастающее), а также величиной давления. Режим прессования устанавливается в каждом отдельном случае и зависит от свойств массы, зернового состава, влажности и вида прессуемых изделий.

За последние годы в нашей стране (ВНИИФ, УНИИСП) и за рубежом установлена возможность изготовления плоских изделий любой формы (круглой, квадратной, овальной и др.) способом полусухого прессования из порошкообразных масс, получаемых обезвоживанием суспензий в распылительных сушилках. Последовательность операций при полусухом прессовании тарелок приведена на рис. 58.

Разработаны конструкции прессов с механическим и гидравлическим односторонним и двусторонним ступенчатым приложением давления, а также прессов, работающих по принципу гидростатического прессования. Серия гидравлических прессов с усилием прессования 250, 500 и 1000 Нм для прессования круглых и некруглых тарелок и других изделий разной величины создана фирмой «Дорст» (ФРГ). Схема автоматического пресса P1T500-A1 «Изомат» указанной фирмы приведена на рис. 59. Масса влажностью 1—3% из бункера *1* (рис. 59, *б*) дозатором подается в форму четырехпозиционного пресса *2*. Пресс имеет два верхних пуансона, работающих попеременно. Благодаря поворотному устройству штамп после каждого прессования поворачивается на 180°. В то время как один из верхних пуансонов выполняет прессование, отклонившийся пуансон очищается специальным устройством. На первой позиции

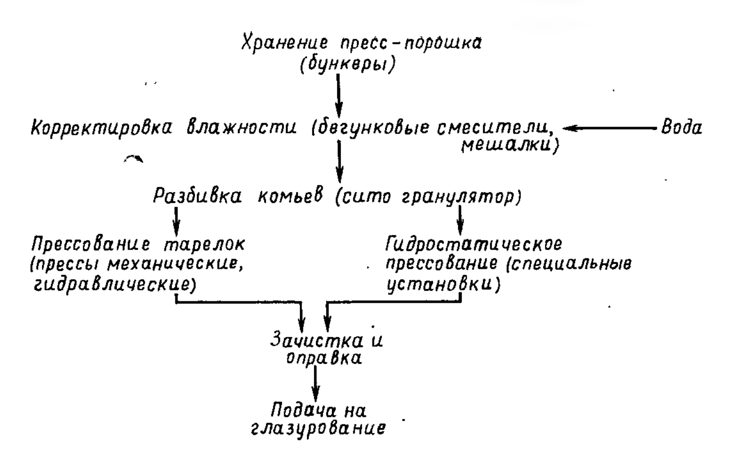



**Рис. 58. Последовательность операций при сухом прессовании тарелок**

поворотного стола производится загрузка пресс-порошка в форму, на второй позиции происходит прессование изделия, на третьей — снятие его пневмосъемником, на четвертой — очистка сжатым (0,4—0,5 МПа) воздухом резиновой матрицы (мембраны) и ее замена при изменении ассортимента изделий. После засыпки пресс-порошка специальное устройство (шаблон по конфигурации изделия) разравнивает порошок в форме. Прессование изделий осуществляется стальным пуансоном путем передачи давления масла через мембрану. Мембрана закрывает сверху напорный резервуар, заполненный маслом для гидросистемы. При движении вниз верхний пуансон контактирует с массой в форме (на мембране) и плотно закрывает форму. Давление, изостатически создаваемое в гидроузле, через мембрану уплотняет равномерно порошок по всей поверхности изделия (снизу вверх). После выдерживания в течение небольшого промежутка времени давление снимается, верхний пуансон поднимается и изделие снимается с мембраны. Прессуют изделие ножкой вниз. Гидравлический агрегат *3* расположен рядом с прессом. Он оборудован саморегулирующимся аксиально-поршневым элементом, приводимым в действие электродвигателем, и обеспечивает сжимающее усилие матрицы (и пуансона, механическую фиксацию матрицы и изостатическое прессование изделия). Пневматический переставитель *4* устанавливает изделия на вращающийся стол *5*, имею-



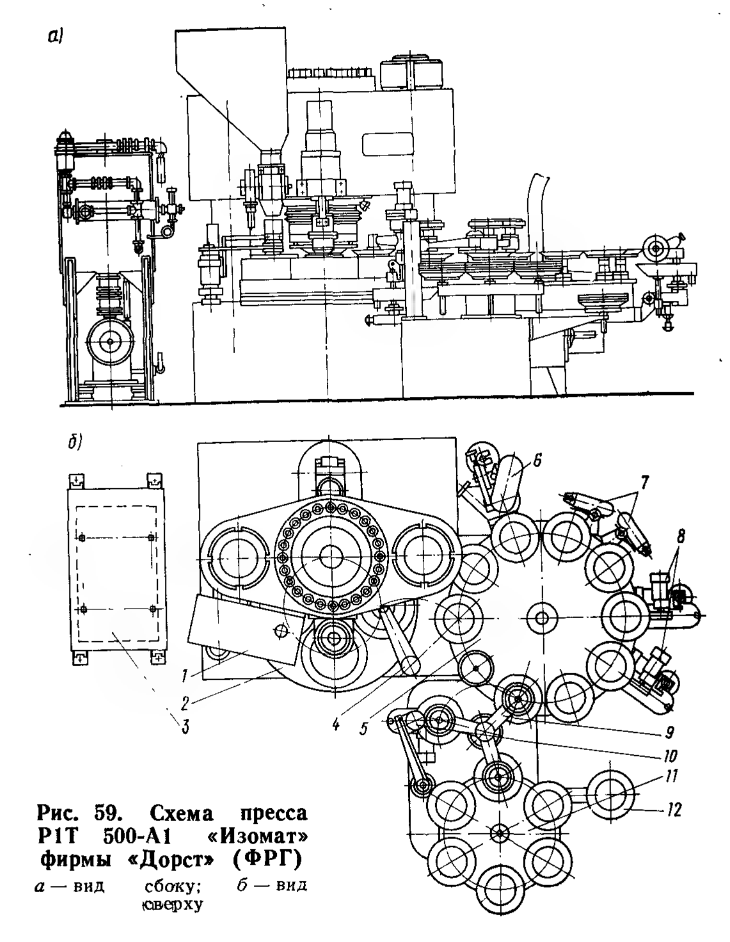



**Рис. 59. Схема пресса P1T 500-A1 «Изомат» фирмы «Дорст» (ФРГ)**

*а* — вид сбоку; *б* — вид сверху

щий десять приводных плавно регулируемых шпинделей с отверстиями для центрирования и вакуумного закрепления изделий. Вращение стола для зачистки изделий синхронно вращению стола пресса. Края тарелки шлифуются приводным шлифовальным кругом *6*, после чего они зачищаются сначала при правом, а затем при левом реверсивном вращении шпинделя на двух узлах зачистки *7* и замываются влажной губкой на двух позициях *8* при помощи двух валиков, вращающихся в противоположные стороны. Пневматическим переставителем *9* изделия переносятся на штабелировочную машину, на столе *11* которой после замывки ножки изде-

лия влажной губкой устройства *10* изделия укладываются стопировщиком *12* в штабеля высотой не более 15 шт. Расход воздуха при прессовании составляет примерно 20 нл/м при давлении 4—5 МПа.

Производительность прессов от 200 до 900 шт/ч при установленной мощности электродвигателей в 15, 20 и 30 кВт.

Прессы P1500C и P11000C используют для изготовления изделий овальной, прямоугольной и квадратной формы, прессы PIT500 и PIT250 — для изготовления тарелок обычной формы.

**Дефекты прессования.** При прессовании изделий наиболее часто возможны следующие дефекты. *Трещины расслоения* обычно являются результатом упругого расширения запрессованного воздуха после снятия давления. Устраняют этот дефект корректировкой гранулометрического состава пресс-порошка, повышением влажности и однородности увлажнения порошка, вакуумированием, регулировкой режима прессования.

*Заусеницы* по краям изделия возможны при изношенной облицовке формы и штампа.

*Вырывы* на поверхности изделия образуются при повышенной влажности порошка, неправильном обогреве штампа, наличии прилипшей массы на поверхности штампа и матрицы.

Внедрение в производство полусухого прессования изделий позволяет резко снизить их стоимость за счет исключения гипсовой формы, снижения расхода топлива и электроэнергии, исключения процесса сушки, уменьшения числа основных и вспомогательных операций и т. д. Кроме того, на 80—85% уменьшается производственная площадь, необходимая для установки пресс-автоматов, по сравнению с производственной площадью, необходимой для установки обычных линий для формования изделий.

### *Вопросы для самопроверки*

1. Охарактеризуйте режимы прессования изделий.
2. Последовательность операций при полусухом прессовании изделий и их особенности.
3. Охарактеризуйте дефекты прессования.



# ГЛАВА 7. СУШКА ПОЛУФАБРИКАТОВ

## 1. Теоретические основы сушки и сушильные устройства

Сушку проходят все керамические изделия. В процессе сушки полуфабрикат отдает часть имеющейся в нем влаги, что способствует отделению изделий от формы, приобретает значительную прочность (2—2,5 МПа для фарфора, 4—6 МПа для фаянса), водоустойчивость к размыванию, что позволяет наносить на его поверхность глазурь при однократном обжиге изделий. В себестоимости фарфоровых изделий затраты на сушку составляют 2—3%, фаянсовых 6—8%. Процесс сушки равен 35—40% общей длительности производственного цикла при однократном обжиге изделий, сушилки занимают 18—25% общей площади поточной линии.

**Теоретические основы сушки.** В процессе сушки полуфабриката происходят физико-механические коллоидно-физические и биохимические изменения, во многом определяющие получение продукции нужного качества.

Известно, что вода в формовочной массе или литейном шликере не одинаково связана с минеральными частицами и по-разному проявляет свои свойства в процессе сушки.

При сушке вода удаляется частично, даже в высушенном полуфабрикате всегда сохраняется 2—4% свободной влаги, так как еще не создаются условия для разрыва химических связей влаги с материалом и удаления конституционной воды.

Обычно при сушке удаляется вода, механически удерживаемая микро- и макрокапиллярами и располагающаяся на поверхности частиц изделия. Частично удаляется вода физико-химическая, связанная адсорбционно, из гидратных оболочек глинистых частиц и вода, связанная структурно, находящаяся между гидратными оболочками.

Перемещение воды в материале в процессе сушки происходит как в жидком состоянии, до 60% общего количества, так и в виде пара — до 40% общего количества влаги. Обычно на всем протяжении сушки встречаются оба вида перемещения влаги. Перемещение влаги ускоряется с повышением температуры, так как вязкость воды при 70°С почти в 4 раза меньше, чем при

0° С, а с повышением температуры от 0 до 90° С степень насыщения окружающего воздуха увеличивается примерно в 104 раза.

Характерной особенностью сушки тонкостенных фарфоровых, фаянсовых и других керамических изделий является то, что скорость сушки определяется в основном скоростью внешней диффузии влаги в окружающую среду при относительно свободном поступлении ее из внутренних слоев черепка. Это объясняется повышенной влагопроводностью черепка полуфабриката, состоящего из 50% глинистых частиц, имеющих размер до 10 мкм, и 50% каменистых материалов с более крупным размером частиц — до 50 мкм и выше. Регулирование интенсивности испарения влаги в различные периоды сушки, усадки полуфабриката и усадочных напряжений, продолжительности сушки, свойств и скорости движения теплоносителя достигается соответствующим режимом сушки.

*Режим сушки* — это комплекс мероприятий, предусматривающий минимальное время, необходимое для сушки изделий с учетом их свойств, формы, размеров и особенностей сушильных устройств, а также рациональный подвод теплоты к высушенному изделию с минимальными потерями теплоты и изделий. Процесс сушки характеризуется тремя периодами: подогрева, постоянной и подающей скорости сушки (рис. 60), за которыми следует период равновесного состояния.

*Первый период* сушки характеризуется ускоренным прогревом массы полуфабриката от начальной температуры до температуры насыщенного теплоносителя при данном его влагосодержании. Температура полуфабриката соответствует показаниям мокрого термометра, температура среды — показаниям сухого термометра психрометра. Влагосодержание полуфабриката изменяется еще незначительно. Относительно высокая пористость материала изделий, значительное количество сильно развитых макроскопических пор и наличие влаги, механически связанной частицами глинистых материалов и слабоудерживаемой в толстых гидратных оболочках глинистых частиц, обусловливают возможность интенсивной сушки в первый период, особенно после отдачи первых 3—5% общего количества имевшейся в изделиях влаги. К концу периода устанавливается равновесие между количеством теплоты, идущим на нагрев



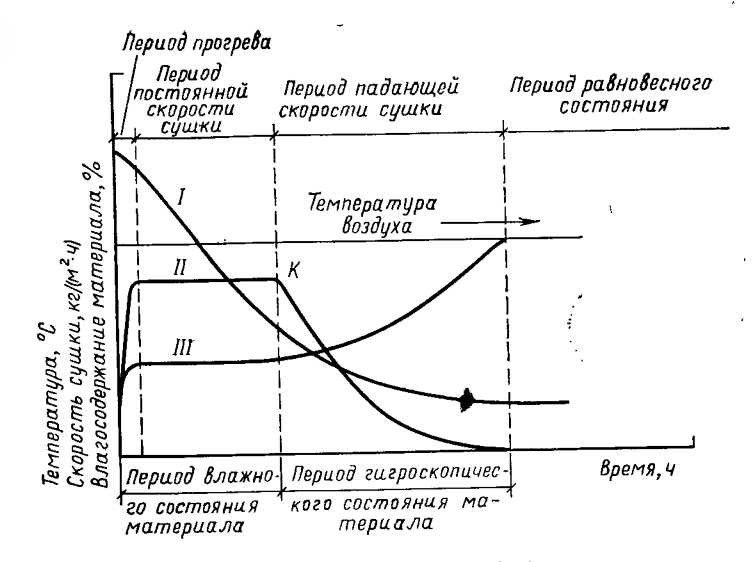



**Рис. 60. Кривые сушки полуфабриката**

*I* — влагоотдачи; *II* — скорости сушки; *III* — температуры материала; *К* — точка критической влажности

массы полуфабриката, и количеством, расходуемым на испарение влаги.

*Второй период* сушки характеризуется наличием на кривой скорости сушки (II) горизонтального участка, указывающего на то, что скорость сушки численно равна скорости испарения влаги с поверхности полуфабриката. Влагосодержание полуфабриката изменяется почти по прямой. Температура поверхности полуфабриката (кривая III) остается постоянной, так как основная масса теплоты расходуется на испарение влаги. Поверхность изделия остается смоченной влагой, поступающей из внутренних слоев. Постоянная скорость сушки сохраняется до тех пор, пока количество испаряющейся с поверхности изделия воды меньше или равно количеству воды, поступающему по капиллярам из внутренних слоев под действием диффузионно-осмотических и капиллярных сил.

Интенсивность сушки во втором периоде зависит уже не от скорости испарения влаги с поверхности изделия, а от скорости перемещения ее из внутренних слоев материала наружу. При этом влага перемещается в основном в виде пара и изделие теряет большую часть

влаги, скорость сушки резко падает, что фиксируется изломом на кривой сушки в точке $K$, указывающим на окончание второго периода сушки. Влажность, соответствующая окончанию второго периода, называется критической для данного материала и при данных параметрах теплоносителя. К концу второго периода влагосодержание поверхности материала выравнивается с его равновесным влагосодержанием, фронт испарения влаги перемещается внутрь материала и начинается третий период сушки.

*Третий период* характеризуется падающей скоростью сушки и повышением температуры полуфабриката. Интенсивность влагоотдачи в этом периоде пропорциональна средней влажности материала в интервале от критической до конечной влажности. Разность между влажностью материала до сушки и влажностью, соответствующей равновесной, определяется количеством влаги, удаляемой в процессе сушки. В третьем периоде сушки допускается значительное повышение температуры и скорости теплоносителя.

Сушку изделий прекращают при достижении конечной влажности $W_{кон}$, которая меньше критической $W_{кр}$, но больше или равна равновесной влажности $W_р$: $W_{кр} > W_{кон} \geqslant W_р$.

У пластичных высокодисперсных масс равновесная влажность выше, чем у тощих. При испарении влаги в процессе сушки до уровня ниже равновесной влажности полуфабрикат должен немедленно поступать на обжиг. Несвоевременное поступление полуфабриката на обжиг и пребывание его в условиях, когда он может увеличить количество равновесной влаги (фарфоровая масса 1,5—2%) за счет поглощения ее из воздуха в результате заполнения некомпенсированных связей твердых частиц, сопровождается частичным набуханием частиц глины, объясняемым сорбционным расклиниванием воды и возможным снижением прочности полуфабриката. Совмещение процессов сушки и первого обжига в одном тепловом агрегате или применение высокотемпературной сушки исключает подобное явление.

*Воздушная усадка* является результатом удаления влаги из полуфабриката. Она достигает у фарфоровых изделий 8—11%, у фаянсовых 10—12%.

Изменение влагосодержания полуфабриката и его усадка вызывают усадочные напряжения, в результате



которых на полуфабрикате возможно появление трещин и его коробление.

Воздушная усадка полуфабриката неодинакова во взаимно перпендикулярных направлениях, поскольку в процессе пластического формования или отливки изделий глинистые частицы, имеющие пластинчатую форму, принимают ориентированное положение. Неравномерность усадки возникает также в результате разнотолщинности изделий и неодинаковой скорости сушки различных мест изделия.

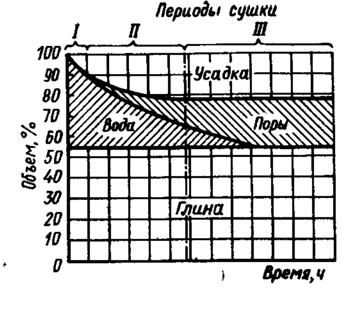



**Рис. 61. Диаграмма объемных изменений в глине при сушке (по Берри)**

По мере удаления влаги уменьшается объемная доля воды (рис. 61), заполняющей микрокапилляры и образующей вогнутые мениски на границе изделие—воздух. Поверхностное натяжение оставшейся в капиллярах воды увеличивается, что приводит к сближению частиц, обусловливающих усадку полуфабриката. Усадка происходит до тех пор, пока частицы не придут во взаимное соприкосновение. Возникающие при этом силы трения частиц возрастают и в момент, когда они превысят силы поверхностного натяжения влаги в капиллярах, усадка прекращается. При этом в массе полуфабриката наряду с воздухом, заполняющим поры, сохраняется определенное количество влаги, соответствующее критической влажности высушиваемого материала.

Возникновение напряжений в процессе сушки объясняется неравномерной усадкой материала в результате различных условий для внешней и внутренней диффузии влаги, разноплотности, разнотолщинности, анизотропии структуры изделий. Величина внутренних напряжений зависит в основном от свойств и первоначальной влажности материала, режима и скорости сушки, вида изделий. Внутренние напряжения пропорциональны величине усадки. Чем больше перепад влажности поверхностных и внутренних слоев, тем больше усадочные напряжения. Наибольшая усадка наблюдается в период максимального удаления влаги и развития капиллярных усилий, которые тем выше, чем дисперснее и пластичнее масса. У пластичных глин капиллярные усилия до-

стигают 6,8 МПа, у каолинов 2—2,5 МПа. Объемная усадка в этом периоде сушки равна количеству испаренной влаги — воды усадки. Дальнейшее удаление влаги в третьем периоде сушки сопровождается незначительной усадкой, а с прекращением усадки, т. е. при достижении критической влажности, сушка полуфабриката протекает без уменьшения его объема, так как частицы массы вошли в плотный контакт друг с другом, образуя прочный каркас.

Удаление влаги при постоянном объеме изделий вызывает образование пор. Эта влага называется водой пор, и для пластичных масс ее количество составляет 10—18%. Количество усадочной воды зависит от первоначальной влажности массы, в то время как вода пор является величиной постоянной для данной массы.

Воздушная усадка полуфабриката начинается в местах интенсивной влагоотдачи, т. е. с его поверхности. Усадка поверхностных слоев при влажных внутренних слоях сопровождается образованием в них растягивающих усилий. Давление сжимающих поверхностных слоев вызывает сжатие внутренних слоев. Пока масса полуфабриката сохраняет пластические свойства, растягивающие усилия в поверхностном слое компенсируются пластическими деформациями. Если растягивающие усилия превысят прочность, на полуфабрикате образуются поверхностные трещины, что чаще наблюдается в начале сушки.

С перемещением зеркала испарения влаги внутрь массы изделия происходят изменения усадочных напряжений: в поверхностном прочном слое возникают сжимающие усилия; во внутреннем, стремящемся к сокращению объема — растягивающие, в силу прочных связей внутренних и поверхностных слоев. Это иногда приводит к образованию внутренних трещин (структурных), что обычно наблюдается в третьем периоде сушки. С прекращением усадки ослабевают внутренние напряжения и дальнейшее удаление влаги не вызывает деформаций полуфабриката.

При неравномерной сушке в различных сторонах полуфабриката возможно его коробление. При скорости сушки, значительно превышающей допустимую для данной массы, в высушенном полуфабрикате могут сохраниться остаточные напряжения, придающие ему хрупкость.



Величина воздушной усадки зависит от свойства массы и определяет чувствительность ее к сушке. Величина воздушной усадки должна быть минимальной, но достаточной для свободного отделения и освобождения изделий из формы. Повышенная усадка массы сопровождается деформацией, появлением трещин, увеличением остаточных напряжений. Усадка, как и величина усадочных напряжений, регулируется вводом добавочных материалов, изменяющих условия внутренней и внешней диффузии влаги.

Регулирование внутренней диффузии влаги в полуфабрикате достигается согласованными действиями по двум направлениям: замедлением внешней диффузии путем изменения температуры, относительной влажности и скорости теплоносителя и увеличением внутренней диффузии влаги вводом в массу отощающих материалов — кварцевого песка, боя изделий и др. Электролиты с двухвалентным катионом ($Ca^{2+}$ и др.) также снижают формовочную влажность массы, вызывают коагуляцию глинистых частиц, способствуют укрупнению капилляров, освобождая их от взвешенных частиц, улучшают влагопроводность материала, снижая его воздушную усадку. Вакуумирование массы также способствует уменьшению усадки при сушке.

Снижение воздушной усадки массы приобретает особую актуальность в условиях автоматизированного производства ввиду более жестких условий тепловой обработки изделий.

*Продолжительность сушки* изделий зависит от технологических свойств массы, начальной и конечной температуры полуфабриката и теплоносителя, относительной влажности теплоносителя, размера, вида и конфигурации изделий, температурного режима, конструктивиых особенностей сушильных устройств. Она колеблется от 10—13 мин до 4 и более часов в искусственных и до 2 сут в естественных сушилках и может быть сокращена в первом периоде за счет добавки в массу отощающих материалов, а во втором — за счет повышения температуры и скорости теплоносителя.

Использование части отработанного теплоносителя или добавочное увлажнение его при работе на калориферах, а также организация сушки полуфабриката большими объемами теплоносителя сокращают продолжительность второго периода сушки. Сокращение треть-

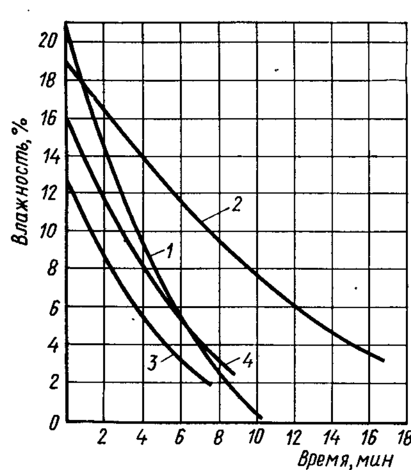



**Рис. 62. Изменение влажности при одностадийной сушке на гипсовых формах фаянсовых (1) и фарфоровых (2) тарелок и при двухстадийной сушке фаянсовых (3) и фарфоровых (4) тарелок**

его периода сушки достигается повышением температуры.

Исследования показали, что длительность сушки, например фарфоровых и фаянсовых тарелок, может быть значительно сокращена как при одностадийной, так и при двухстадийной сушке при условии цикличной подачи теплоносителя, нагретого до 140—320° С, направленным потоком на изделия со скоростью 1,5—2 м/с (рис. 62). Одностадийная сушка фаянсовых тарелок возможна за 9—10 мин (кривая 1), двухстадийная за 8—10 мин до влажности 3—4% (кривая 3). Фарфоровые тарелки можно высушить до влажности 3—4% на гипсовой форме (одностадийная сушка) за 11—16 мин, при двухстадийной сушке до влажности 2—3% за 10—11 мин (кривые 2 и 4). Замена гипсовых форм на формы из других материалов и подача теплоносителя направленным потоком позволяют повысить температуру сушки до 250—320° С при его цикличной подаче. Использование радиационного обогрева позволяет сократить при двухстадийной сушке первую стадию сушки полых изделий до 3—4 мин, вторую стадию сушки плоских изделий — до 10 мин и полых — до 3—4 мин. При любом форсировании процесса сушки скорость ее не должна превышать максимально допустимую, так как возможно растрескивание изделия (на рис. 63 заштрихованная область).

Наименее эффективным при сушке является испарение влаги с полуфабриката методом конвективного нагрева его теплоносителем, так как передача теплоты изделию осуществляется недостаточно интенсивно из-за плохой теплопроводности воздуха, омывающего поверхность изделия. Использование радиационного обогрева



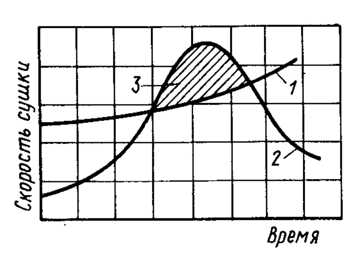



**Рис. 63. Кривые скорости сушки**

1 — максимально допустимой; 2 — фактической; 3 — область вероятного растрескивания изделий

электрическими и газовыми излучателями с направленным потоком лучистой энергии на каждое изделие в отдельности наиболее эффективно.

Основным преимуществом новых методов сушки является непосредственное повышение температуры в самом подвергающемся сушке полуфабрикате без участия газовой (воздушной) среды как передатчика теплоты.

Эти методы сушки могут быть различны: кондуктивные, диэлектрические, сверхвысокочастотные или микроволновые. При диэлектрической сушке можно применять прерываемый (импульсный) режим. Недостаток этих методов сушки — высокая стоимость и сложность установок для сушки полуфабриката.

Сушка инфракрасным излучением — один из новых и весьма перспективных методов сушки, широко внедряемый в промышленность совместно с конвективным нагревом. При нагреве полуфабриката инфракрасными лучами происходит поглощение материалом изделия лучистой энергии с длиной волны 140—650 нм с последующим переходом ее в тепловую энергию. Глубина проникновения инфракрасного излучения в керамический полуфабрикат определяется его материалом и структурой, но вообще мала — 0,05—1 мм. Капилляры или поры многократно отражают лучи от своих стенок, энергия этих лучей может поглощаться почти полностью, как абсолютно черным телом. Шероховатость поверхности изделий, наличие царапин, волнистости, загрязнения поверхности увеличивают коэффициент поглощения лучей.

При сушке изделий инфракрасными лучами учитывают, что фарфоровое изделие поглощает значительно большее количество лучистой энергии, а гипсовая форма поглощает ее во много раз меньше, что может привести к ее перегреву. При замене гипсовых форм на формы из других материалов (керамических и др.) опасность их перегрева снижается. Продолжительность

сушки изделий 15—30 мин при толщине стенок 2,5—4 мм. Широкому распространению сушил радиационного типа способствует резкое сокращение продолжительности сушки за счет повышения средней скорости влагоотдачи до 3,25 кг/м² ч против 0,4 кг/м² ч, достигаемой при конвективной сушке.

При использовании инфракрасного излучения или комбинированной сушке необходимо обеспечить интенсивный отбор влажного воздуха, так как пары воды, образующиеся над поверхностью изделий, сильно поглощают инфракрасные лучи, снижая тем самым эффективность сушки.

При газовом отоплении в качестве излучателей применяют инжекторные горелки (микрофакельные), при электронагреве — лампы марок ЗС, ЗС-1 и другие мощностью 500 Вт, карбидокремневые нагреватели, металлические нагреватели из нихромовой проволоки. Температура нагрева излучателей около 850—650° С. При сушке в первой стадии в гипсовых формах мощность лучистой энергии определяется необходимостью частичного нагрева гипсовой формы и достигает 25 Вт/см², в то время как во второй стадии без формы она снижается до 0,2—0,8 Вт/см². Продолжительность первой стадии сушки 15—20 мин, второй 10—15 мин. Расход электроэнергии в первой стадии сушки около 2 Вт·ч на 1 кг испаряемой влаги.

Организация скоростной, в том числе и высокотемпературной сушки наиболее полно отвечает требованиям автоматизированного производства изделий.

## 2. Сушильные устройства и режимы сушки

Общие требования к сушильным устройствам следующие: равномерность сушки по всему сушильному устройству; минимальные сроки сушки; простота обслуживания и регулирования режима сушки; минимальная площадь сушилок на единицу высушиваемых изделий; экономичность в строительстве и эксплуатации.

Сушка изделий может быть естественной и искусственной.

Естественная сушка еще сохранилась на отдельных заводах. Она осуществляется на стеллажах, устанавливаемых в формовочно-сушильных цехах заводов. Обычно естественной сушке подвергают крупноразмерные из-



делия сложной формы и реже изделия массового ассортимента. Общими недостатками естественной сушки являются непостоянный и продолжительный срок сушки, что вынуждает выделять большие сушильные площади, трудность регулирования режима сушки, повышенная трудоемкость и ограниченные возможности механизации производственных процессов.

Искусственная сушка осуществляется в сушилках, которые по принципу (режиму) работы подразделяются на сушилки периодического и непрерывного действия. По конструкции они подразделяются на камерные, туннельные, конвейерные. По форме — на прямоугольные и круглые. По способу подвода теплоты к высушиваемому изделию различают сушилки конвективные, радиационные, а также комбинированные.

Признаками, характеризующими особенности сушильных устройств, являются: вид теплоносителя (воздух, дымовые газы); направление движения теплоносителя относительно материала (прямоток, противоток); характер циркуляции теплоносителя (естественная, искусственная); способ нагрева теплоносителя (калориферный, регенераторный, теплота остывающих изделий); способ подачи и отбора теплоносителя (сосредоточенный, рассредоточенный).

На фарфоро-фаянсовых заводах наиболее распространены сушилки конвективные и конвективно-радиационные, в которых в качестве теплоносителя используется горячий воздух. Направление подачи теплоносителя может быть вертикальным (нисходящее), горизонтальным и комбинированным.

Температура теплоносителя не должна вызывать нагрев гипсовых форм выше 70° С. При досушке изделий без форм, а также при направленной (внутрь изделия) подаче его температура может быть более высокой 220—250° С.

Камерные сушилки периодического действия на фарфоро-фаянсовых заводах используют для сушки гипсовых форм, крупноразмерного огнеупорного припаса — капселей, плит, труб и других крупноразмерных майоликовых изделий сложной формы. Для этих же целей используют и туннельные сушилки.

Конвейерные (люлечные) сушилки представляют собой цепной конвейер с подвешенными качающимися полками, перемещающийся в сушильной камере, раз-

деленной внутри перегородками. По направлению перемещения конвейера сушилки бывают с вертикальным, горизонтальным и П-образным движением. На заводах широко используют сушилки ВНИИФ, «Тюрингия» (ГДР), фирм «Нетчш», «Липперт» (ФРГ) и др. Конвейерные сушилки являются одновременно связующим звеном между участками формования и оправки изделий.

Сушилка «Тюрингия» имеет длину 11,5 и 14 м с горизонтальным направлением движения изделий и теплоносителя (рис. 64). Прямоугольная камера сушилки разделена горизонтальными перегородками на шесть ярусов, верхний ярус предназначен для возврата гипсовых форм на позицию формования, нижний — для отбора отработанного теплоносителя. Воздух, нагретый в паровоздушном калорифере *1*, расположенном в середине сушилки, поступает на сушку в рабочие ярусы сушилки по воздухопроводам *2* и *3*, расположенным снаружи в средней части сушилки. Движение горячего воздуха в сушилке — горизонтальное. Отработанный теплоноситель удаляется из сушилки через нижний ряд при помощи вентилятора *4*. Часть этого теплоносителя через шибер *5* патрубком *6* направляется для повторного использования (рециркуляции). Сформованные изделия на гипсовых формах устанавливают на полки конвейера сушилки через окно *7*. В процессе сушки изделия находятся в постоянном движении и равномерно омываются теплоносителем, что позволяет высушить их без дефектов. Сухие изделия вынимают из гипсовых форм через окно *8* у противоположного конца сушилки. Гипсовые формы, оставленные на полках конвейера, поступают на участок формования через шестой ряд, подсушиваясь по пути следования. Производительность сушилки 430 шт/ч при длительности сушки тарелок диаметром 240 мм до 4,5 ч и удельном расходе теплоты 7,1 МДж на 1 кг испаренной влаги.

При двухстадийной сушке изделий (рис. 65) используют конвейерные сушилки, разделенные горизонтальной перегородкой *3* на две зоны: нижнюю (зона I) с цепным люлечным конвейером *2* и верхнюю (зона II) с конвейером *4*. В отличие от непрерывного движения конвейеров в сушилке «Тюрингия» люлечные конвейеры имеют пульсирующее движение (движение 4, 5 с, выстаивание 3,5 с). Движение конвейеров синхронное.



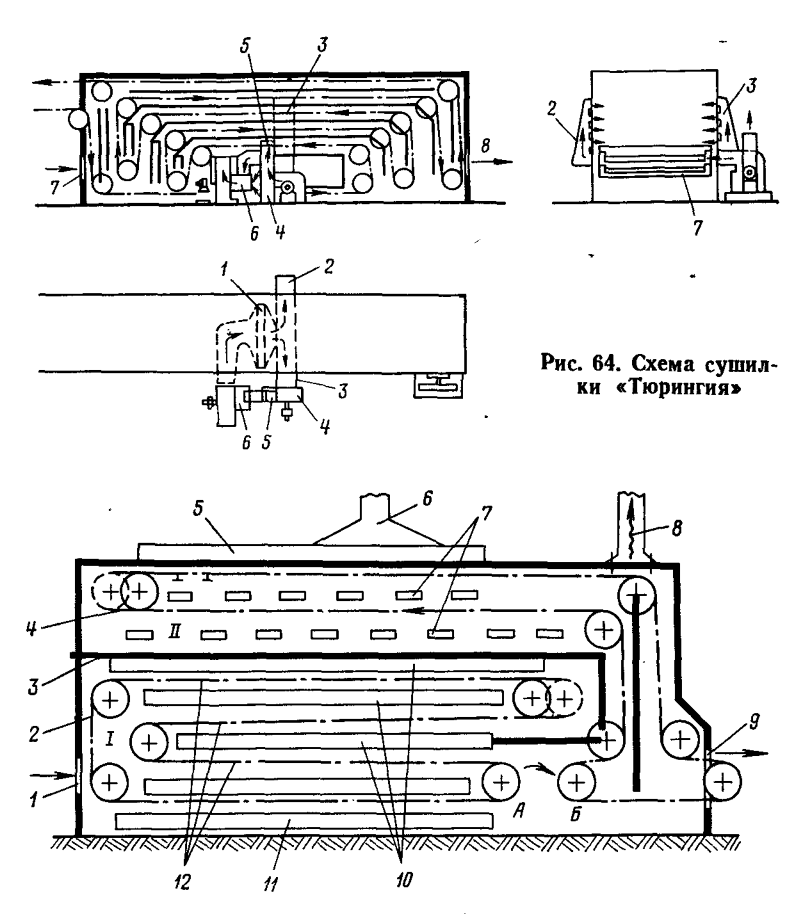


Рис. 64. Схема сушилки «Тюрингия»

Рис. 65. Схема сушилки конструкции ВНИИФ

Изделия на гипсовых формах загружаются на люльки конвейера через окно *1*, проходят подвялку в первой зоне сушилки для снижения влажности до 14—18%, на позиции *А* снимаются с формы вручную или автоматически и на позиции *Б* переставляются на металлические кольца конвейера окончательной сушки (вторая зона). Высушенные изделия снимаются с люлек конвейера *4* через окно *9*. Гипсовые формы, освободившиеся от изделий на позиции *А*, возвращаются на люльках конвейера *2* по его нижней ветви к окну *1*, где их снимают для формования, и цикл их повторяется. Подвялка изделий осуществляется при температуре теплоносителя 65—70° С, окончательная сушка при температуре до

110° С. Для этого теплоноситель подается направленным потоком (через перфорированные насадки) на изделия коробами 7, расположенными над полками конвейера 12 (с изделиями). Скорость воздушного потока после насадок 13—15 м/с. Отработанный теплоноситель удаляют из сушилки через отверстия в коробе 11 (внизу первой зоны) с таким расчетом, чтобы часть его была использована повторно (рециркуляция), а часть удалена в атмосферу через коллектор 5 и трубу 6.

Поскольку во второй зоне необходимо поддерживать температуру около 110° С, то для этого используют радиационный нагрев, создаваемый горелками красного и инфракрасного излучения. Горелки располагают под изделиями на расстоянии 150—250 мм. Высушенные изделия охлаждают воздухом, поступающим из цеха через окно 9 и удаляемым через трубопровод 8.

При двухстадийной сушке и комбинированном нагреве длительность сушки тарелок сокращается до 30 мин, производительность возрастает до 600—1200 шт/ч, а расход теплоты на испарение 1 кг влаги снижается до 4,2—6,7 МДж.

Несмотря на то что конвейерные сушилки широко распространены в промышленности, они имеют существенные недостатки: большая длительность сушки — от 30 мин до 4,5 ч, значительный расход теплоты на испарение влаги — до 7,1 МДж/кг, низкие съемы с 1 $м^2$ занимаемой площади, значительный расход гипсовых форм — до 2000 шт.

Технико-экономические показатели сушки улучшаются при использовании сушилок с направленной (в полость изделий) подачей теплоносителя. Известны три типа таких сушилок: конвективные, радиационные и комбинированные (конвективно-радиационные).

Направленная подача теплоносителя позволяет повысить его температуру до 90—110° С и более без риска разрушения гипсовых форм, сократить сроки сушки, повысить экономичность сушки. Хорошие результаты получают при комбинированном нагреве изделий — сначала радиационным, а затем конвективным способами. Длительность сушки сокращается в 5—6 раз, плоских изделий — в 10—12 раз, удельный расход теплоты сокращается на 10—15%, снижаются потери при сушке, особенно по деформации, повышаются другие технико-экономические показатели сушки. Режим сушки контроли-



руется автоматически и реже вручную путем изменения расхода пара (газа) на нагрев калорифера, а также подачи холодного воздуха в короба.

Для контроля параметров сушки используют термометр манометрический, самопишущий ТСГ-71014 со шкалой до 300°С; электронные психрометры ПЭ; манометр показывающий МП-4; дифманометр сильфонный, самопишущий, типа ДОСНО-Н; тягонапоромер ТНМ-Ш.

Высушенные фарфоровые изделия должны обладать достаточной прочностью при изломе — 2—2,2 МПа. Повышают прочность изделий до 3—3,5 МПа добавкой 2—3 % бентонита, а до 4—4,5 МПа — сульфитно-спиртовой барды (ССБ) или карбоксилметилцеллюлозы (КМП).

В процессе сушки на изделиях проявляются дефекты формования (литья): «жмотины», выбоины и другие, а также возникают новые: деформация, трещины, отставание приставных деталей. Дефекты, подлежащие исправлению, удаляются при оправке изделий. Затем изделия подвергают визуальному и керосиновому контролю (выборочно) и направляют на обжиг или глазурование (при однократном обжиге).

*Вопросы для самопроверки*

**1. Назначение сушки изделий.**
**2. Характеристика периодов режима сушки.**
**3. Воздушная усадка и факторы, влияющие на величину усадки.**
**4. Факторы, определяющие продолжительность сушки.**
**5. Новые методы сушки и их краткая характеристика.**
**6. Сушильные устройства и их краткая характеристика.**
**7. Пути интенсификации сушки.**

# ГЛАВА 8. ИЗГОТОВЛЕНИЕ ОГНЕУПОРНОГО ПРИПАСА

## 1. Массы для огнеупорного припаса

Назначение огнеупорного припаса — защитить обжигаемые изделия от прямого воздействия топочных газов и резких колебаний температуры, исключить засорение поверхности изделий и механические повреждения, предохранить изделия от слипания, способствовать выравниванию температуры изделия. Из огнеупорного припаса — плит и стоек устраивают этажерки на печных ва-

гонетках, придающие необходимую устойчивость садки при максимальном использовании рабочего объема туннельной печи. В щелевых роликовых печах огнеупорные плиты, подставки, ролики обеспечивают перемещение обжигаемых изделий.

По форме капсели бывают круглые, квадратные, прямоугольные, овальные. Размеры капселей зависят от вида обжигаемых в них изделий с учетом наилучшего использования капсельного объема. В один капсель укладывают до 10 изделий. Масса его колеблется от 1 до 12 кг и более. Для утельного обжига тарелок применяют капсели с вырезным дном, с углубленным профилированным дном, кольцеобразной формы, а также разборные этажерки, собираемые из плит и стоек, или этажерки, стационарно устанавливаемые на печных вагонетках.

В связи с широким использованием в производстве туннельных печей типа ПАС для скоростного обжига изделий в УНИИСП разработан установочный огнеупорный припас (рис. 66 и 67). При утельном обжиге расход такого огнеупорного припаса снижается на 40% по сравнению с расходом обычного огнеупорного припаса. Отношение массы обжигаемых изделий к массе огнеупорного припаса составляет в туннельных печах 1 : 5, в роликовых щелевых печах колеблется от 1 : 8 до 1 : 12 и более.

При загрузке туннельных вагонеток капселями круглой формы коэффициент заполнения печного объема составляет 0,45—0,5 при обжиге фарфора и 0,5—0,54 при обжиге фаянса. При комбинированной садке — на этажерках и в капселях использование печного объема повышается до 0,62—0,65 при обжиге фарфора и до 0,65—0,7 при обжиге фаянса.

С целью снизить такой порок, как «засорка», а также для продления срока службы огнеупорного припаса капсели, плиты и стойки покрывают специальными промазками (ангобами).

В себестоимости изделий расходы на огнеупорный припас составляют от 7 до 16% ввиду малой его оборачиваемости (глиношамотные капсели 4—5, круги и обечайки — 50—60, плиты 80—120, стойки до 200—250 оборотов), а также несовершенства тепловых агрегатов, требующих для обжига изделий значительное количество огнеупорного припаса.



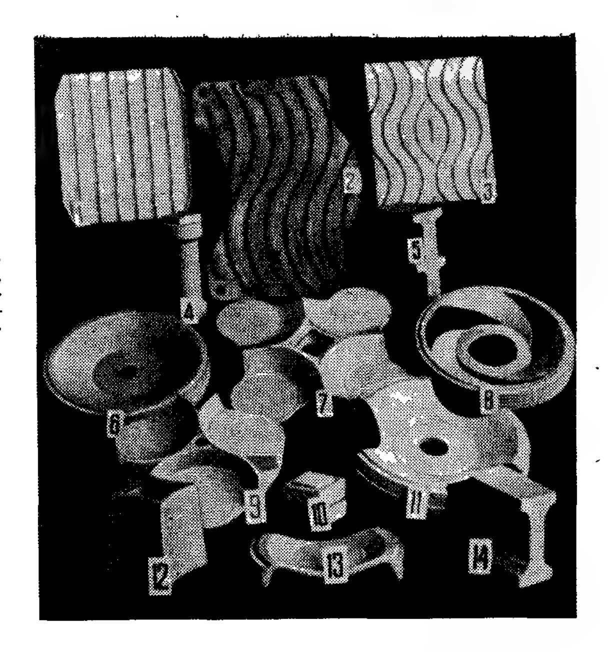


**Рис. 66. Установочные огнеупоры для обжига плоских изделий**

*1, 2, 3* — плиты для устройства канализированного пода и этажерок; *4, 5, 10, 12, 14* — стойки, *6, 8, 11* — капсели облегченной конструкции; *7, 9, 13* — подставки для многоярусной загрузки

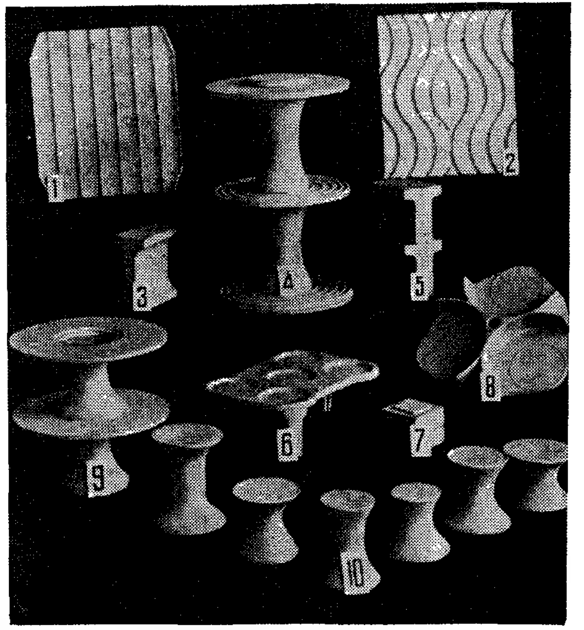


**Рис. 67. Установочные огнеупоры для обжига полых изделий**

*1, 2* — плиты для устройства канализированного пода и этажерок; *3, 4, 5* — стойки; *6, 7, 8, 9* — подставки для многоярусной загрузки изделий; *10* — подставки для уплотненной многоярусной загрузки

К огнеупорному припасу, предназначенному для использования в щелевых печах при скоростном обжиге изделий, предъявляются высокие требования по термостойкости, теплопроводности, теплоемкости, пределу прочности при разрыве, средней плотности.

Этим требованиям наиболее полно удовлетворяет припас из высокоглиноземистых и карбидокремниевых масс.

Эффективными способами повышения термостойкости огнеупорного припаса, в том числе и для скоростного обжига изделий, являются: повышение предела прочности за счет правильного подбора зернового состава, способа формования и оптимальной температуры обжига; повышение коэффициента теплопроводности за счет ввода в шамотные массы добавок карбида кремния, корунда, талька и др.; уменьшение модуля упругости за счет ввода в шамотные и карбидокремниевые массы технического глинозема; уменьшение коэффициента теплового расширения массы за счет ввода в их состав добавок, способствующих образованию в процессе обжига соединений с низким коэффициентом теплового расширения (муллит, кордиерит и др.).

Для скоростного обжига изделий благоприятно использование крупнозернистых материалов с пористой структурой, так как мелкозернистая плотная структура ухудшает эксплуатационные свойства огнеупорного припаса. Содержание стекловидной фазы должно быть не слишком большим, а кристаллическая фаза не должна быть непрерывной, так как разрывы в структуре облегчают распределение внутренних тепловых напряжений в черепке огнеупорного припаса. Повышенная пористость также способствует снижению внутренних напряжений при резких перепадах температур.

Повышение прочности огнеупорного припаса обязательно при организации скоростного обжига изделий, так как огнеупорный припас в этих случаях должен иметь минимальную толщину и массу. Толщина огнеупорного припаса, обладающего высокой термической стойкостью, должна превосходить толщину обжигаемых на нем изделий не более чем в 2—3 раза.

Ухудшение условий эксплуатации огнеупорного припаса в связи с интенсификацией процесса обжига предопределяет выбор основных материалов для его изготовления в ближайшие годы — кордиеритовых, муллитовых, карбидокремниевых и в меньшей мере глиношамотных, хотя последние еще широко используются в промышленности.



В глиношамотных массах используют глины латненские, веселовские и просяновский, положский турбовский и другие каолины, а также бентонит. Глинистая составляющая, связывая остальные компоненты массы, придает ей пластические свойства, достаточную прочность полуфабриката в высушенном состоянии (предел прочности при изгибе 2,2—2,6 МПа), обеспечивает образование в черепке стекловидной фазы в количестве до 40% объема и прочность изделий при сжатии 10—36 МПа и при изгибе 7—16 МПа.

Ввод в глиношамотную массу 15—30% технического глинозема (марки ГК, ГН-1, ГН-2 и др.) повышает оборачиваемость капселей почти в 3,5 раза, а ввод 5—10% талька способствует образованию кордиерита ($2MgO \cdot 2Al_2O_3 \cdot 5SiO_2$), обладающего низким коэффициентом термического расширения и снижающего вредное влияние свободного кварца в черепке, что повышает оборачиваемость огнеупорного припаса на 25—30%.

Обновление в огнеупорной массе части шамота вводом в нее свежеобожженного шамота (не менее 40% общего количества шамота в массе) является обязательным. Изменяя соотношение в массе различных фракций шамота, достигают снижения усадки массы при сушке и обжиге до 7—9% и пористости черепка в пределах 8—12%, что наиболее полно удовлетворяет требованиям прочности и термической стойкости огнеупорного припаса.

Составы глиношамотных масс для огнеупорного припаса приведены в табл. 8. Свойства огнеупорного припаса из таких масс характеризуются следующими показателями: средняя плотность 1,75—1,9 г/см$^3$, водопоглощение 14—17, пористость 24—30%, предел прочности при сжатии 15—22, при изгибе 8—12 МПа, температура начала размягчения 1320—1360° С, КТР (5—7)$\cdot 10^{-6}$/град$\cdot$С.

Свойства шамотного припаса зависят от содержания в массе шамота и глинистой составляющей. Оптимальное соотношение шамота и глины в массе колеблется в пределах от 7:3 до 7,5:2,5 по объему. С повышением содержания шамота в массе усадка при обжиге уменьшается почти линейно, увеличивается водопоглощение,

Таблица 8. **СОСТАВЫ ГЛИНОШАМОТНЫХ МАСС**

| Материал | Составы, % | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | для капселей | | | | для этажерного припаса | | | |
| Глина часов-ярская | 37 | — | — | — | — | 13 | 5 | — |
| Глина латненская | — | 42,5 | 30 | 15 | 32 | 37 | — | — |
| Глина веселовская | — | — | 10 | 15 | — | — | 25 | 25 |
| Каолин положский | 10 | — | 10 | — | — | — | 15 | 10 |
| Карбид кремния | — | — | — | 30 | — | — | — | — |
| Глинозем технический | — | — | — | 10 | 15 | — | — | 15 |
| Пирофиллит | — | — | — | — | — | — | 20 | — |
| Тальк | — | 7,5 | — | — | 13 | 3 | — | 11 |
| Шамот | 53 | 50 | 50 | 30 | — | 47 | 35 | 39 |
| Шамот кордиеритовый | — | — | — | — | 40 | — | — | — |
| ССБ (сверх 100%) | — | 0,03 | — | 2 | — | — | 2 | 4 |

снижается прочность изделий. Температура размягчения почти не изменяется при различных соотношениях отощителя и глинистой связки.

В многошамотных массах при полусухом способе подготовки массы и повышенном давлении прессования содержание шамота достигает 80% за счет снижения содержания мелких фракций. Замена 10—20% мелких фракций шамота корундом (плотность не менее 3,75 г/см³) повышает оборачиваемость огнеупорного припаса в 1,3—1,5 раза. При этом предел прочности при изгибе возрастает до 13—15 МПа, при сжатии — до 45—49 МПа, пористость составляет 25—27%, а температура начала размягчения под нагрузкой 0,2 МПа находится в пределах 1420—1430° С.

При вводе в массу от 5 до 10% гидрофобных добавок (нефть, мазут и др.) снижают содержание зерен размером 3—5 мм за счет повышения мелких фракций, что способствует повышению термостойкости огнеупорного припаса при сохранении достаточной механической прочности. При этом пористость возрастает на 3—5%, увеличиваются модуль упругости, линейное термическое расширение и теплопроводность изделий. Оборачиваемость капселей повышается в 1,5—1,8 раза.



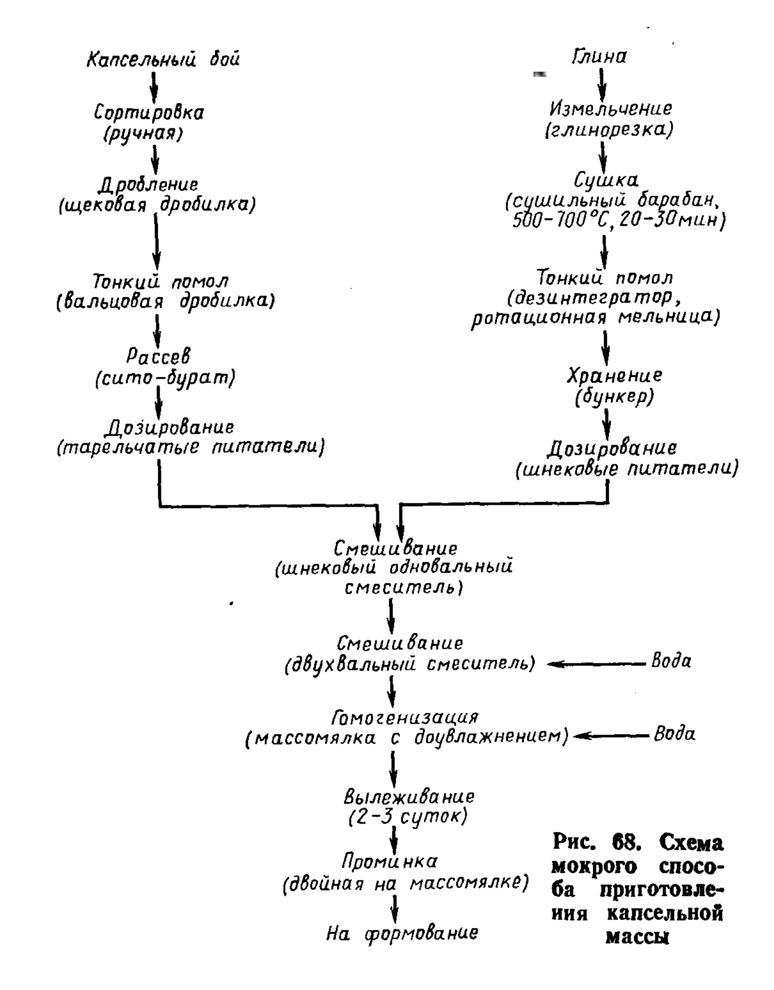



**Рис. 68. Схема мокрого способа приготовления капсельной массы**

Тонкий помол глинистых материалов при сухом способе подготовки масс осуществляют в ротационных мельницах или дезинтеграторах с последующим рассевом на фракции. Гранулометрический состав глинистого порошка характеризуется остатком на сите № 2,6 (отверстие 3 мм) — не более 1%, а проход через сито № 05 (отверстие размером 0,5 мм) — не менее 50%. Шамот приготовляют из боя огнеупорного припаса в количестве до 60% и глины — до 40%.

Подготовку масс осуществляют мокрым, полусухим способами, реже шликерным.

Последовательность выполнения технологических операций при мокром способе подготовки капсельной массы приведена на рис. 68. Для смешивания компонентов массы используют смесительные бегуны, бегунковые смесители и смесители с Z-образными лопастями. После предварительного перемешивания в продолжении 5—6 мин в бегунковых смесителях или мешалках типа Эйриха шихта поступает в двухвальный смеситель для увлажнения. Увлажняют шихту водой или суспензией — каолиновой либо каолино-тальковой. В смеситель также подают добавки: сульфитно-спиртовую барду, жидкое стекло и др. Продолжительность перемешивания 12—15 мин.

Лучшего смешивания компонентов массы достигают при шликерном способе подготовки глины. Глинистые компоненты распускают в воде в пропеллерной или горизонтальной мешалке с добавлением 0,3—0,4% жидкого стекла, 1,8—2% каустической соды, сульфитно-спиртовой барды или других поверхностно-активных веществ. Суспензию пропускают через сито № 06 139 отв/см$^2$ и смешивают в такой же мешалке с предварительно тонкомолотым (фракция не более 1—1,5 мм) порошкообразным шамотом с добавками. Последовательность технических операций при шликерной подготовке массы для капселей приведена на рис. 69. Шликерная подготовка массы удорожает ее на 10—12%.

Влажность массы при пластическом формовании капселей из глиношамотной массы 23—25%, из карбидокремнийсодержащих масс — 14—17%, при полусухом прессовании — 7—9%, литье — 19—23%.

Карбидокремниевые массы характеризуются повышенным и высоким до 48—99% содержанием SiC.

Карбидокремниевые огнеупоры хорошо работают под нагрузкой, не превышающей 0,05—0,06 МПа, при сохранении от ударов и поддержании при обжиге газовой среды: окислительной до 1100° С, восстановительной при 1100—1320° С и слабовосстановительной от 1320 до 1400° С. Этим условиям отвечает обжиг фарфоровых изделий.

Карбид кремния используют для изготовления огнеупорного припаса в трех композициях (табл. 9). Огнеупорный припас из карбида кремния на связке из огнеупорной глины используют до температуры не более 1450° С. Он прочнее глиношамотного припаса в 2,5—



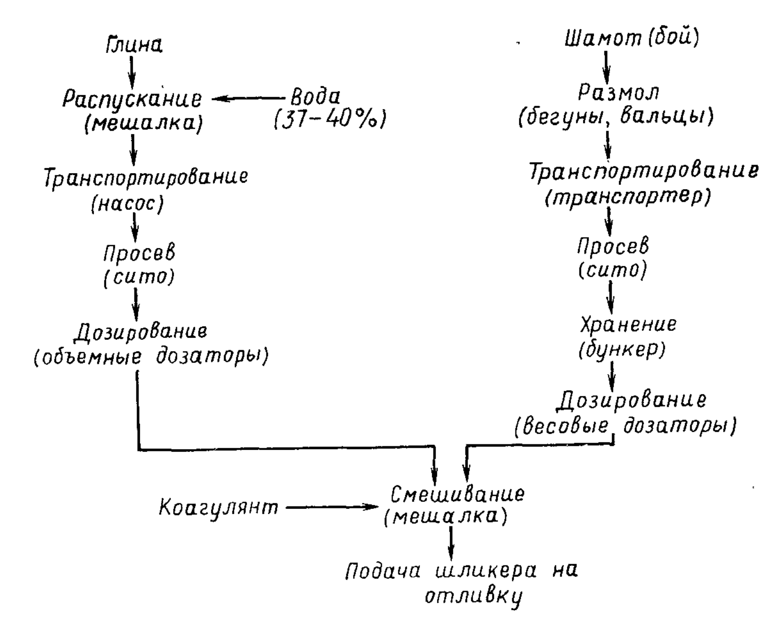



**Рис. 72. Схема производства кордиеритового припаса**

3 раза, что позволяет изготовлять изделия с более тонкими стенками и повышает полезную загрузку печного объема. Высокая теплопроводность карбидокремниевого припаса (в 8 раз выше глиношамотного) позволяет сократить длительность нагрева и охлаждения обжигаемых изделий, повышает их качество. Однако глинистая

Таблица 9. **ХАРАКТЕРИСТИКА КАРБИДОКРЕМНИЕВЫХ ИЗДЕЛИЙ**

| Композиции | Содержание SiC, % | Средняя плотность, г/см$^3$ | КТР, $1\cdot10^{-6}\cdot1/°C$ | Температура использования, °С | Предел прочности при изгибе, МПа |
|---|---|---|---|---|---|
| Карбид кремния на глинистой связке | 85 | 2,4 | 5,5 | 1400 | 10 |
| Карбид кремния на химической связке | 90 | 2,6 | 4,4 | 1460 | 27 |
| Рекристаллизованный карбид кремния | 99 | 2,6 | 4 | 1500 | 126 |

связка лишает возможности использовать в полной мере ценные свойства карбида кремния. Замена глинистой связки на химическую повышает сопротивляемость изделий окислению при обжиге и способствует продлению срока службы огнеупорного припаса, хотя связки из других материалов также не равнозначны по устойчивости к разрушению в результате окисления. По степени устойчивости связок к окислению их можно расположить в ряд: кремнеземистая<глинистая<нитридная ($Si_3N_4$<комплексная ($\beta SiC+Si_2ON_2+SiO_2$)<карбидокремнеземистая ($SiC+SiO_2$). Кремнеземнстая и глинистая связки обеспечивают удовлетворительную защиту от окисления карбида кремния до температуры 1300° С, другие до 1450° С и выше.

Наибольшей механической прочностью обладает огнеупорный припас раскристаллизованного SiC без связки. Плиты, ролики, стойки и другие виды огнеупорного припаса могут успешно эксплуатироваться при 1500—1550° С.

Основной недостаток карбида кремния — склонность к увеличению в объеме в результате окисления при эксплуатации выше 1000° С, особенно в присутствии паров воды, всегда имеющихся в печных газах. После 100—150 оборотов, например, плиты увеличиваются в объеме до 7%, а содержание SiC в них снижается с 90 до 40%. При нанесении (ангобировании) способом напыления смеси $Al_2O_3$ и $V_2O_5$ окисление огнеупорного припаса уменьшается почти в 3 раза.

Для изготовления огнеупорного припаса используют карбид кремния (черный или зеленый) мелкой фракции от № 16 до 24, средней — от № 36 до 60, крупной — от № 100 и выше.

В зависимости от способа прессования и назначения изделий в массу огнеупорного припаса вводят карбидокремниевую составляющую из 43% крупной фракции, 30% — средней и 37% — мелкой. Глинистый компонент вводится глинами — веселовской, любытинской, латненской и другими, предварительно молотыми в воздушно-сухом состоянии и просеянными через сито № 0355 (400 отв/см²). Для улучшения прессования изделий вводят добавку — 0,1—0,3% сульфитцеллюлозного щелока плотностью 1,36 г/см³ (при 40°С), имеющего сухой остаток 60%.

Шихтовые составы масс для изготовления установоч-



Таблица 10. ШИХТОВЫЕ СОСТАВЫ МАСС В ЗАВИСИМОСТИ ОТ СПОСОБОВ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ИЗДЕЛИЙ

| Компоненты масс | Способ изготовления и содержание компонентов в массе, % | | |
|---|---|---|---|
| | вибро-уплотнение | полусухое прессование | шликерное литье |
| Карбид кремния: | | | |
| фракции 3—2 мм | 30 | — | — |
| фракции 2—0,5 мм | 30 | — | — |
| фракции 0,06 мм | — | — | 55 |
| порошок № 125 | — | 25 | — |
| порошок № 63 | — | 15 | — |
| порошок № 25 | — | 20 | — |
| порошок № 10 | 25 | — | — |
| Глина огнеупорная | 5 | 10 | 15 |
| Глинозем технический | 10 | 10 | 15 |
| Каолин обогащенный | — | 20 | 15 |
| Жидкое стекло | — | — | 0,5 |
| ССБ | — | 2 | — |
| Сода кальцинированная | — | — | 0,2 |

ных огнеупоров, используемые при скоростном обжиге фарфоровых изделий в зависимости от способов их изготовления, приведены в табл. 10. Добавки ССБ и соды кальцинированной вводятся сверх 100%.

Массы для плит этажерок туннельных печей должны иметь следующий состав, %: 83—93 карбида кремния, до 10 технического глинозема плотностью не менее 3,75 г/см³, 7 латненской глины и 3 (сверх 100%) ССБ. Для изготовления капселей используют массы из 30—70% карбида кремния, 10% технического глинозема, 20—30% глинистой связки, 30—20% капсельного боя и 2% ССБ (сверх 100%). Изготовляют карбидокремниевый припас в последовательности, приведенной на рис. 70.

Карбид кремния и часть глины перемешивают в смесителе с Z-образными лопастями в течение 10 мин.

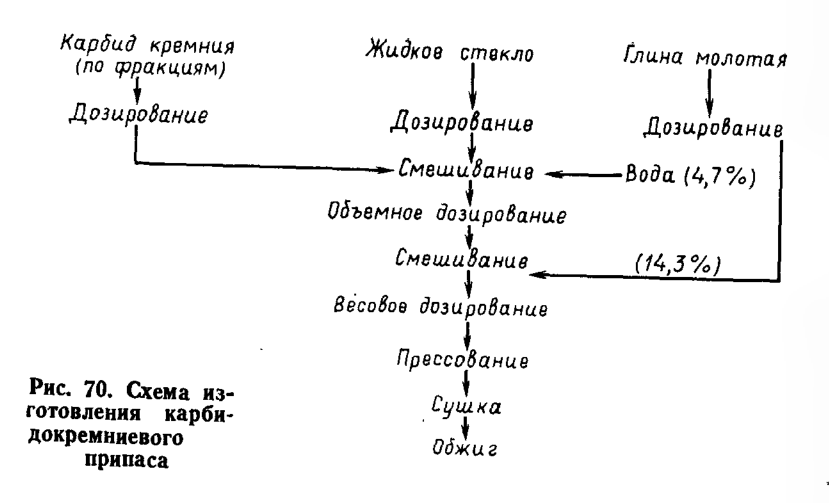



**Рис. 70. Схема изготовления карбидокремниевого припаса**

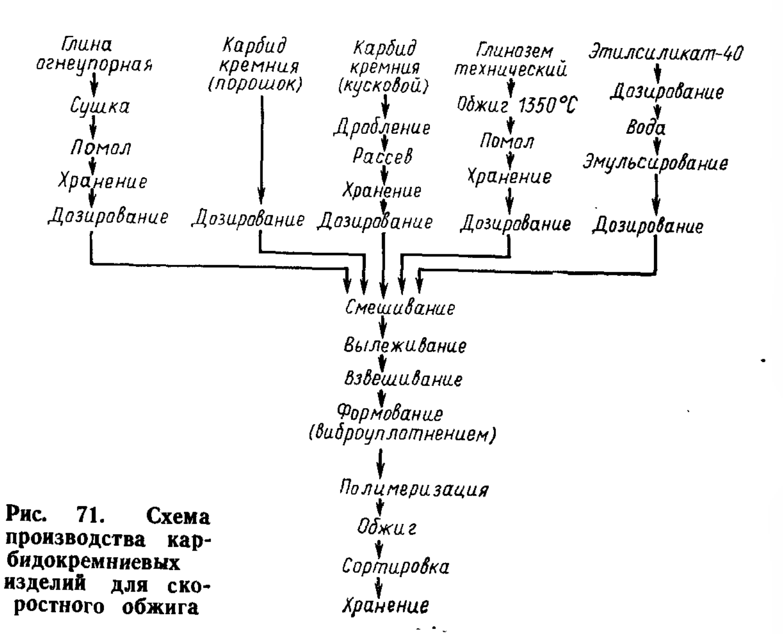



**Рис. 71. Схема производства карбидокремниевых изделий для скоростного обжига**

После сухого смешивания в мешалку подается требуемое количество глинистой суспензии и шихта перемешивается еще 20 мин. Готовая шихта влажностью 3,5—5% поступает на прессование.



Подготовка массы для установочных огнеупоров (см. рис. 66 и 67), изготовляемых способом литья, имеет свои особенности. Бой карбидокремниевых огнеупоров для повторного использования предварительно измельчают до прохода через сито № 0355 (400 отв/см²). Тонкий помол осуществляют в шаровой мельнице в два приема. В первый завес загружают в мельницу все каменистые материалы, 3—5% глинистых, часть воды и электролиты, растворенные в теплой воде. Тонина помола определяется остатком на сите № 006 (10 000 отв/см²), который должен быть не более 7%. Во втором завесе в мельницу загружают все остальные компоненты массы. Совместный помол осуществляют 1,5—2 ч. Сливая суспензию в сборную мешалку, ее пропускают через сито № 035. Влажность шликера должна быть 30%, число загустеваемости (по Энглеру) 1,2—1,5. Затем шликер подают на участок отливки изделий.

Особую трудность представляет изготовление плит для щелевых печей, работающих по скоростному режиму обжига изделий (3—5 ч) при температуре до 1400° С. Для этих целей УНИИСП разработал составы масс и технологию производства плит и стоек (рис. 71).

Глина после сушки измельчается и просеивается через сито № 05 (размер ячейки 0,5 мм). Карбид кремния после дробления рассеивают на фракции 3—2 мм. Порошок карбида кремния поступает в производство без дополнительной подготовки. Глинозем технический предварительно обжигают при 1350° С и измельчают в шаровой мельнице сухого помола. Продолжительность помола 48 ч.

Этилсиликат-40 вводят в количестве от 1 до 5% в виде эмульсии, приготовленной путем интенсивного размешивания его с водой в соотношении 1 : 3 в быстроходной мешалке в течение 3 мин. Для более полного гидролиза карбидокремниевую массу после ввода в ее состав эмульсии этилсиликата выдерживают в закрытой емкости в течение 48 ч, а затем подают на прессование. При влажности 10—12% масса обладает достаточной сыпучестью. Этилсиликат препятствует комкованию массы при вылеживании.

В многоканальных щелевых печах, внедряемых в керамическую промышленность нашей страны, для транспортирования изделий используют вращающиеся ролики

и ребристые лещадки. Учитывая, что продолжительность скоростного обжига не более 3 ч, а нагрузка на одну лещадку составляет более 2 кг, они должны обладать значительной термической стойкостью и механической прочностью. Поэтому водопоглощение лещадок должно быть в пределах 12—18%, термостойкость не менее 20 теплосмен, отклонения размеров по длине ±3 мм, по ширине ±1 мм, деформация (прогиб) не более 2 мм.

Сложившиеся условия службы лещадок в интервале температур 1100—1200° С предопределяют выбор масс для их изготовления. Наряду с карбидом кремния в массах может быть использован тальк, образующий со свободной кремнекислотой при обжиге кордиерит.

Кордиеритовые массы используют для изготовления плит и фасонных деталей печей, в том числе часто сменяемых роликов. Известно, что кордиерит обладает незначительным тепловым расширением — всего $2\times10^{-6}$ град$^{-1}$ против $5-6\cdot10^{-6}$ град$^{-1}$ шамотных огнеупоров. Это способствует длительной службе изделий из тальковых масс в условиях температур 1300—1350°С. Недостаток тальковых масс — короткий интервал спекшегося состояния. Оксид магния в массу вводят обычно с тальком ($3MgO\cdot4SiO_2\cdot H_2O$). В тальковых массах используют тальк Миасского, Онотского, Шабровского месторождений или сырой магнезит Саткинского месторождения, шамот из латненской глины, каолин положский, глину латненскую, глинозем технический (табл. 11).

Для капселей и плит в производстве фаянсовых изделий и изделий из низкоспекающихся масс (низкотем-

Таблица 11. **СОСТАВЫ КОРДИЕРИТОВЫХ МАСС**

| Масса | Содержание, % | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | Глина латненская ЛТ/У или ЛТ-2 | Шамот из латненской глины | Тальк онотский | Каолин положский | Глинозем технический | Магнезит саткинский |
| 1 | 12 | 40 | 21 | 17 | 10 | — |
| 2 | 25 | 20 | — | 30 | — | 25 |
| 3 | 30 | 35 | 25 | — | 10 | — |



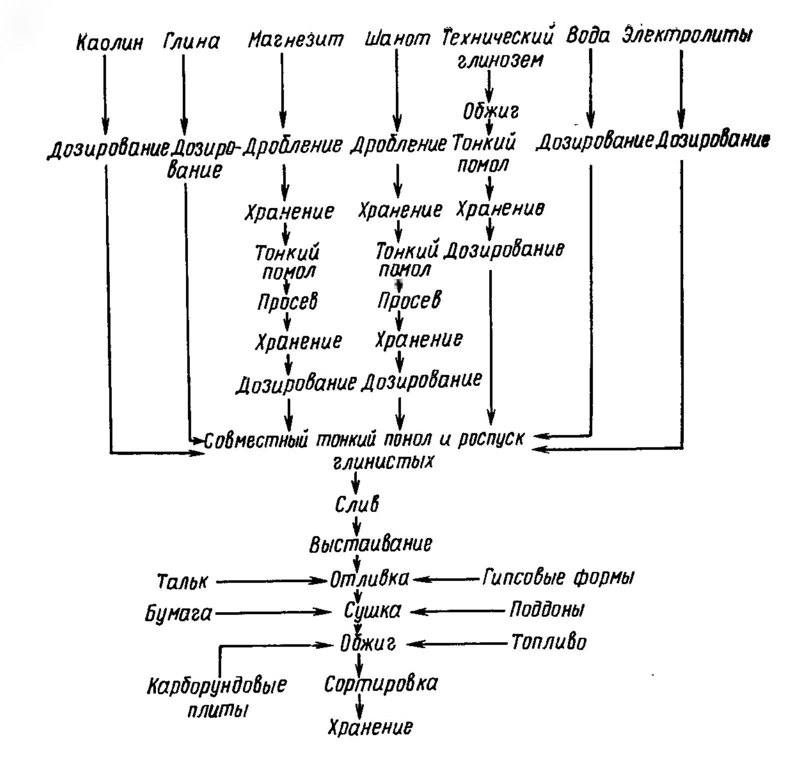



**Рис. 72. Схема производства кордиеритового припаса**

пературный фарфор) рекомендуется масса следующего состава, %: 39 капсельного боя из кордиеритовых изделий, 15 технического глинозема, 25 глины дружковской, 10 каолина просяновского, 11 талька. Оборачиваемость капселей из такой массы более 50. Последовательность изготовления ребристых лещадок из кордиеритовых масс приведена на рис. 72.

Магнезит и брикет на шамот из дружковской или латненской глин предварительно обжигают при 1350° С, а технический глинозем при 1370—1430° С. Подготовленные компоненты массы дозируют и загружают в шаровую мельницу для тонкого помола. Соотношение мелющих тел к размалываемому материалу 1 : 1. В качестве электролитов используют по 0,2% жидкого стекла и соды. Помол осуществляют до остатка на сите № 006 (100 отв/см²) не более 0,05—0,06%. При сливе из мельницы шликер процеживают через латунное сито и

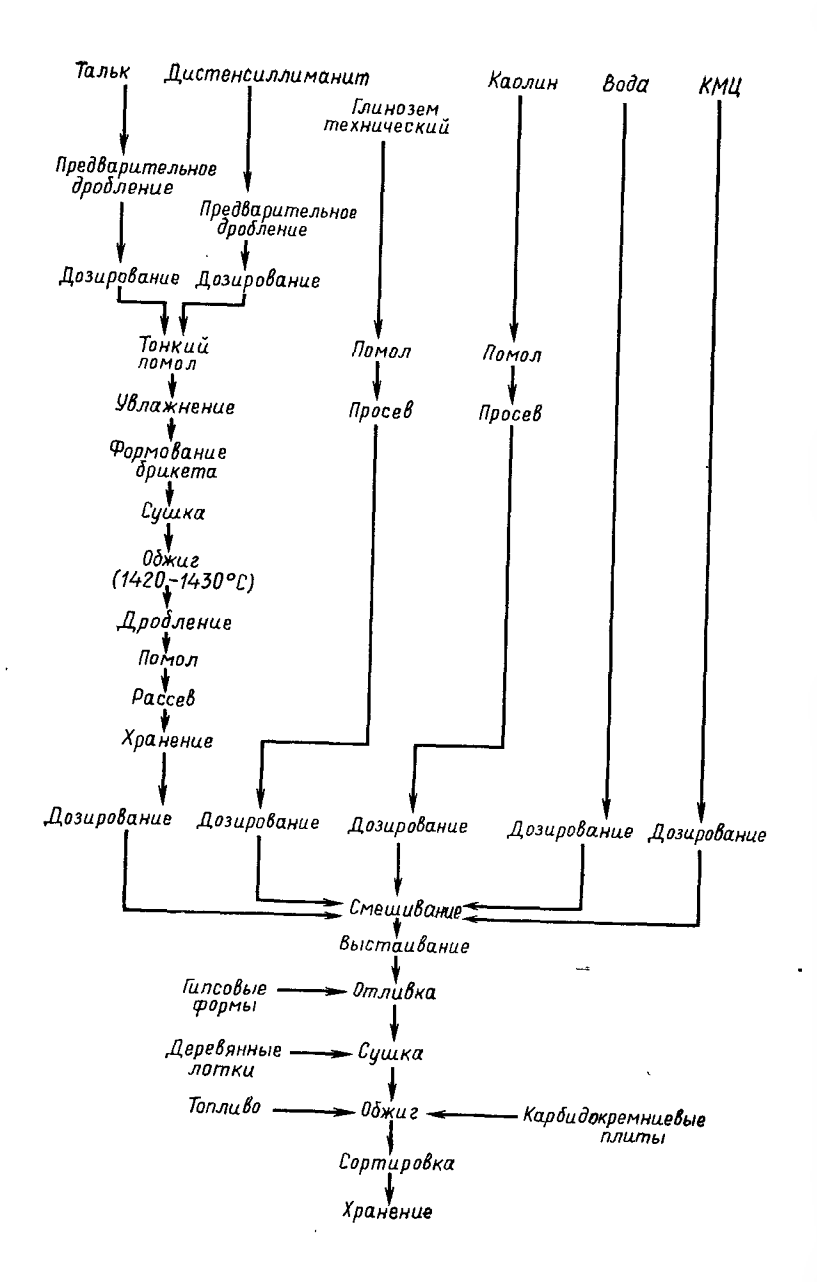



**Рис. 73. Последовательность технологических операций при изготовлении роликов**



выдерживают в пропеллерной мешалке 48 ч. Подготовленный шликер имеет водосодержание 33—34%, pH — 7,5—8, текучесть — 25—28 с.

В массы для изготовления роликов вводят $Al_2O_3$ в виде минералов силлиманита природного или синтезированного или муллита. Огнеупорный припас из таких масс устойчиво работает при температуре 1200—1350° С из силлиманита и до 1650° С из муллита.

Технология производства роликов из дистен-силлиманитовых масс, разработанная в УНИИСП, приведена на рис. 73. Процесс получения дистен-силлиманитового шамота включает следующие операции: предварительный помол талька и дистен-силлиманита до размера зерен 0,05 мм. Тальк вводится в количестве 5% как минерализатор для снижения температуры обжига брикета до 1430° С (вместо 1560° С без минерализаторов). Тальк в массе можно заменить на доломит 5—8%. После дозирования дистен-силлиманит и тальк измельчают в шаровой мельнице сухого помола в течение 2 ч. Размолотую смесь увлажняют водой, формуют в брикеты, сушат и обжигают при температуре 1420—1430° С. Водопоглощение шамота 2,5%. Шамот измельчают в щековой дробилке с последующим помолом в шаровой мельнице до полного прохода через сито № 0112 (2630 отв/см²). Рассев шамота предусматривает отделение фракций размером более 0,125 мм, возвращаемых на домол, и разделение остальной части шамота на фракции 0,125—0,08; 0,08—0,05 и менее 0,05 мм.

Дозируют компоненты масс из расчета 10% каолина положского, 10% глинозема технического, 80% шамота силлиманитового. Гранулометрический состав шамота должен содержать фракции 0,125—0,08 мм — 1—4%, фракции 0,08—0,05 мм — 2—7%, фракции менее 0,05 мм — 89—97%. Введение в массу глинистой составляющей ограничивается с целью устранить деформации роликов при сушке и обжиге. При содержании в массах до 90% отощающих компонентов получают отливку без дефектов. Подготовленный шликер после созревания поступает на участок отливки роликов.

### *Вопросы для самопроверки*

1. Охарактеризуйте назначение и ассортимент огнеупорного припаса.
2. Основные требования к огнеупорному припасу, в том числе для скоростного обжига изделий.

3. Пути повышения длительности службы огнеупорного припаса.
4. Особенности производства глиношамотного огнеупорного припаса.
5. Особенности производства карбидокремниевого огнеупорного припаса.
6. Особенности производства кордиеритового огнеупорного припаса.
7. Особенности производства дистен-силлимвнитового огнеупорного припаса.

## 2. Формование (прессование) огнеупорного припаса

Изготовляют капсели способами пластического формования, полусухого прессования, пневматического трамбования и отливки в гипсовых формах. Способ формования оказывает большое влияние на свойства изделий. Так, шамотные литые капсели начинают деформироваться под нагрузкой 0,2 МПа при 1220—1300° С, капсели пластического формования при 1355—1380° С, полусухого прессования при 1400—1420° С.

В массах для пластического формования содержание глинистых должно быть не менее 40%.

Из пластичных масс капсели изготовляют поточно-агрегатным способом, из порошков — полусухим способом на поточных линиях (рис. 74). Производительность такой линии 200 тыс. капселей в месяц.

*Пластическое формование* капселей и этажерного припаса осуществляют на обычных или автоматизированных фрикционных прессах. Перед закладкой валюшки в пресс-форму последнюю смазывают составом из равных частей керосина и осевого масла или из керосина (60%), отработанного масла (38%) и стеарина (2%), или из керосина (60%) и парафина (40%). Производительность пресса 600—800 капселей в смену. Для пластического формования капселей для плоских изделий используют полуавтоматы ПТ-6, АСФ-0,5, формующий ролик которых смазывают подогретым до 30° С дизельным топливом с 0,5% парафина или 0,3% стеарина.

Пластическим способом возможно также формование роликов многоканальных щелевых печей. Их формуют на вертикальных или горизонтальных прессах, что способствует созданию более плотной структуры, чем при литье, за счет лучшей укладки частиц (поры меньшего размера при большем количестве закрытых пор). В этом случае состав массы корректируется: предельный размер частиц ограничивается до 0,25 мм, число



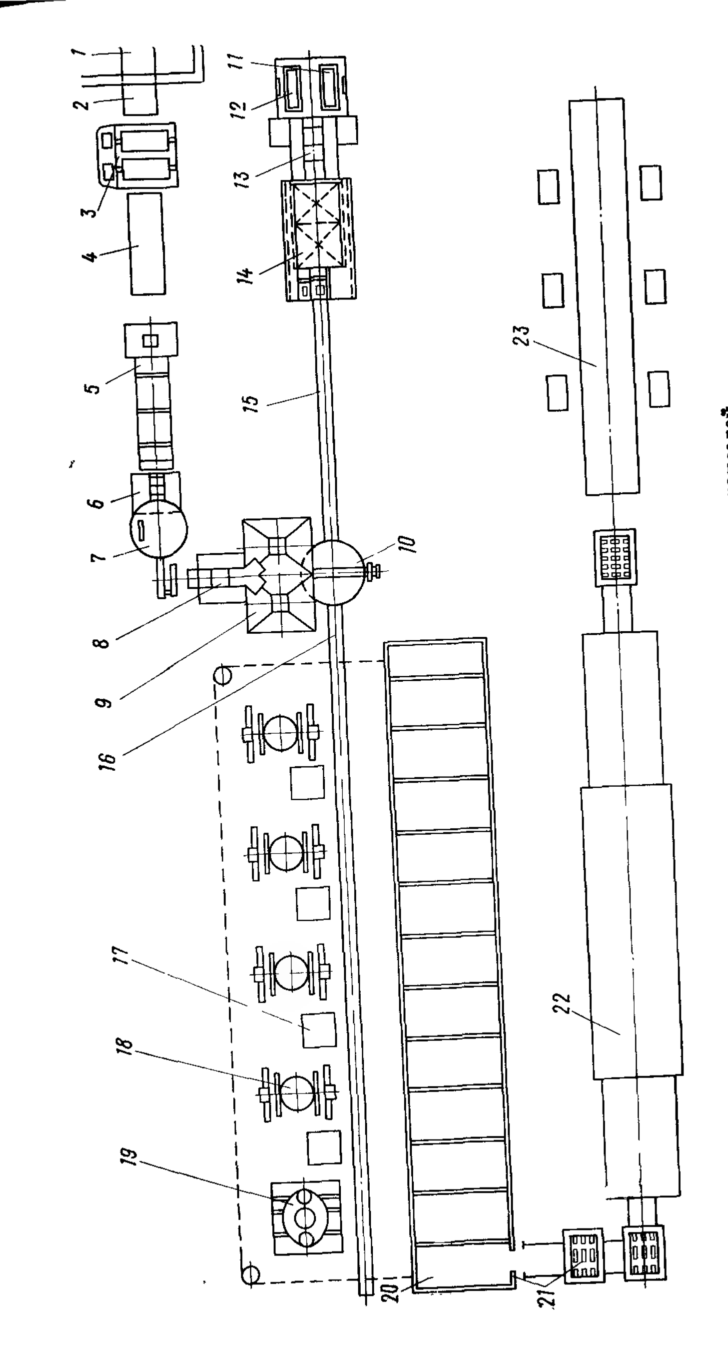


**Рис. 74. Поточная линия производства капселей**

*1* — склад сырья; *2, 4, 15, 16* — ленточные конвейеры; *3* — валковая дробилка; *5* — сушильный барабан; *6, 8, 12* — элеваторы Т-52; *7* — бегуны; *9* — бункера для глинистых материалов; *10* — смеситель; *11* — молотковая дробилка; *13* — бункера для шамота; *14* — сито-бурат; *17* — бункер массы; *18* — фрикционный пресс; *20* — конвейерная сушилка; *21* — разгрузка капселей из сушилки и установка на печные вагонетки; *22* — туннельная печь; *23* — поточная линия очистки и промазки капселей

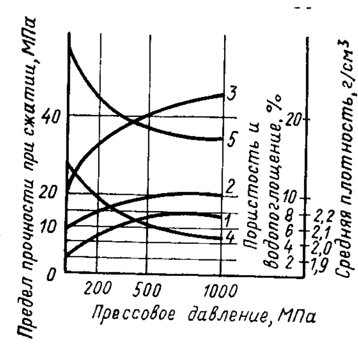



**Рис. 75. Влияние давления прессования на физико-технические свойства многошамотных изделий**

*1* — средняя плотность сырца; *2* — предел прочности при сжатии в воздушно-сухом состоянии; *3* — предел прочности при сжатии обожженных при 1410° С изделий; *4* — водопоглощение; *5* — пористость

пластичности повышается до 9,5 за счет ввода КМЦ при влажности 21—23%.

Плиты и стойки формуют на ленточном вакуум-ном прессе. После подвяливания ролики подвергают механической обработке (обточке) для придания им правильной цилиндрической формы.

*Полусухим способом* прессуют капсели на колено-рычажных гидравлических прессах, которые обеспечивают давление до 20—25 МПа для обычных глиношамотных масс и 50 МПа и более для масс многошамотных, карбидокремниевых и др. На фрикционных прессах усилие прессования колеблется от 8 до 16 МПа, производительность их 1100—1500 капселей в смену. Производительность гидравлических прессов типа ЦБИ 100-3, на которых изготовляют капсели для тарелок диаметром 190—250 мм, 460—650 шт. в смену, а прессов ЦБИ 500-5, выпускающих капсели для тарелок диаметром 230—240 мм, 380—550 шт. в смену. Переход на прессование под большим давлением повышает механическую прочность изделий в 2—2,5 раза, снижает водопоглощение в 1,5 раза, а огневую усадку в 2—2,5 раза (рис. 75).

*Пневмотрамбованием* изготовляют плиты и стойки из сухой карбидокремниевой массы. В смесь, состоящую из различных фракций (по рецепту) карбида кремния, добавляют 3% молотой глины, перемешивают, после чего в массу вводят раствор сульфидцеллюлозного щелока в количестве 6—7% массы сухой шихты. Массу снова перемешивают, протирают дважды через сито с 1 отв/см² и загружают в емкость с плотной крышкой для вылеживания. Влажность массы 1,5—2%. Каждую порцию массы хорошо утрамбовывают пневматическим молотком.



*Вибрационным уплотнением* с пригрузом изготовляют карбидокремниевые плиты для печей скоростного обжига (ПАС и др.).

Собранная металлическая форма крепится на виброплощадке. В нее засыпается предварительно отвешенная порция массы и разравнивается. Поверх массы опускается плита-пригруз из расчета 80 г/см² и включается виброплощадка. Режим вибрации: частота — 50 Гц, амплитуда — 0,1 мм, продолжительность — 60 с. Применение пригруза сокращает продолжительность вибрирования, повышает равномерность уплотнения, удерживает поверхностный слой массы от перемещения и расслаивания, улучшает поверхность изделия. Отпрессованные изделия через 16 ч вместе с поддоном помещают в печь для полимеризации при температуре 250—300° С в течение 1 ч и затем направляют на обжиг. Плиты, полученные этим способом, выдерживают до 200 циклов.

*Литье в гипсовые формы* применяют для изготовления крупногабаритных тонкостенных капселей, подставок, роликов, установочных огнеупоров сложного профиля. При отливке из глиношамотных масс время набора стенки капселя в гипсовой форме равно 1,5—3 ч, деталей этажерок 10—12 ч. Можно также отливать изделия из масс, содержащих до 80% карбида кремния, если в качестве электролитов, препятствующих расслоению и оседанию шликера, использовать жидкое стекло (2—2,8%) и пирофосфат натрия (0,2—0,3%). Для стабилизации шликера добавляют водные растворы альгината аммония, натрийкарбоксиметилцеллюлозы, полихлорвинилового спирта.

Шликер влажностью 19—23% выдерживают перед отливкой не менее 24 ч. Отливают капсели из глиношамотных масс сливным способом, а из карбидокремниевых масс и сливным и наливным способами. Лещадки отливают в гипсовых формах наливным способом. Время набора черепка 40—60 мин. После подвялки лещадки оправляют, досушивают в естественных условиях или в искусственных сушилках до влажности не более 1,5%. При необходимости их зачищают наждачной бумагой и направляют на обжиг.

Значительные трудности возникают при литье роликов для щелевых печей. Шликер через воронку-лоток заливают в гипсовую форму, устанавливая ее строго

вертикально во избежание разнотолщинности стенки ролика. Общее время набора отливки толщиной 6 мм составляет 40 мин при влажности шликера 26—26,5%, его температуре 22—24° С и температуре предварительно подогретой формы 23—26° С. Через 20 мин после слива остатка шликера с полости ролика края отливки защищают и отливка остается в форме для подвяливания еще в течение 1,5—2,6 ч. Далее форма разнимается, концы роликов зачищаются и ролики поступают на сушку естественную или искусственную. Продолжительность естественной подвялки 4—6 ч. Дальнейшая сушка роликов производится на деревянных лотках. Влажность роликов после сушки должна быть 1,5—2%.

Независимо от способа изготовления огнеупорного припаса возможно появление дефектов, снижающих качество изделий. Наиболее часто встречаются: рыхлость стенок из-за недопрессовки, недостаточной влажности массы; разнотолщинность при использовании изношенных форм, неправильной дозировке массы, установке форм под углом при литье роликов и других изделий; заусеницы при использовании изношенных форм, засорении углов мундштука при пластическом формовании изделий; трещины и посечки при нарушении режимов прессования (вибропрессования, трамбования), отклонениях в гранулометрическом составе массы.

*Вопросы для самопроверки*

1. **Способы формования (прессования) огнеупорного припаса и их особенности.**
2. **Особенности вибропрессования.**
3. **Способы изготовления тонкостенных изделий.**

## 3. Сушка и обжиг огнеупорного припаса

Капсели и этажерный припас сушат на открытых стеллажах, в конвейерных, камерных или туннельных сушилках. Продолжительность сушки 60—75 ч при температуре воздуха 30—40° С и относительной влажности 65—70%.

При использовании туннельных сушилок на каждую сушильную вагонетку помещают по 24—32 шт. шамотных капселей, по 82—86 плит, 140—150 стоек. Плиты, стойки и различные приспособления разделяют деревянными гребенками. Перед подачей в сушилки рекомендуется изделия, изготовленные способом пластического формования или отлитые в гипсовых формах, выдерживать на вагонетках или стеллажах 10—12 ч для подвялки и снижения влажности до 12—13%. Далее изделия извлекают из форм для досушки. Период толкания вагонеток 20—45 мин. Начальная температура теплоносителя 40—50° С, конечная 120—160° С. Относительная влажность 65—70%. Продолжительность сушки 8—18 ч. Остаточная влажность 3—6%.



В камерных сушилках срок сушки удлиняется до 48 ч при температуре 50—60° С и относительной влажности 50—60%. Капсели высокого качества должны иметь прочность стенок после сушки не менее 6,5—7 МПа.

Карбидокремниевые капсели сушат на поддонах сначала при температуре 60° С, потом досушивают при температуре 100—120° С до остаточной влажности 1—2%. Ролики для многоканальных щелевых печей сушат на деревянных лотках.

Шамотные изделия обжигают при температуре не ниже 1350° С. Для обжига используют обычные или укороченные туннельные печи длиной от 38,4 до 64 м. Перед загрузкой в печь капсели для предупреждения слипания покрывают составом из 70% песка, 20% каолина и 10% глинозема. Садка плит и стоек производится на ребро с зазорами между ними в 30 мм, что уменьшает возможность их деформации. Время толкания вагонеток 50—72 мин. Выдержка при максимальной температуре 1,5—2 ч. Продолжительность обжига 25—22 ч в окислительной печной атмосфере. Водопоглощение обожженных изделий 10—18%. Выгруженные из печи шамотные изделия сортируют. Капсели, выполненные способом пластического формования, шлифуют, при помощи шаблона наносят на дно выравнивающий слой пластичной огнеупорной массы и покрывают борт глиноземистой промазкой.

Карбидокремниевые капсели обжигают в туннельных печах в два этапа: при температуре 900—1000 и 1430°С. После первого обжига изделия покрывают ангобом состава, %: глинозема технического — 70, каолина — 25, глины веселовской — 5. Влажность ангоба 48—50%. Наносят его окунанием, пульверизацией или кистью.

Выдержка карборундового припаса в процессе обжига при 1000° С в течение 8 ч, а при максимальной тем-

пературе 1430° С в течение 2 ч обеспечивает получение огнеприпаса высокого качества. Печная среда — окислительная. Охлаждение медленное. Продолжительность каждого обжига до 50 ч.

Лещадки обжигают в печах непрерывного или периодического действия на карбидокремниевых плитах при температуре 1280—1300° С. Продолжительность обжига 40—42 ч. При максимальной температуре лещадки выдерживают в печи 4 ч. Печная атмосфера — окислительная.

В процессах сушки и обжига возможно образование дефектов огнеупорного припаса, чаще всего встречаются деформация, мелкие посечки и трещины, выплавки.

Учитывая значительные расходы на изготовление огнеупорного припаса, необходимо продлевать срок его службы. Продлению срока службы, устранению прилипания изделий к огнеупорам, значительному снижению засорки при обжиге глазурованных изделий способствует промазка огнеупорного припаса. Промазки по составу различны, однако общими для них являются требования высокой огнеупорности, чистоты, хорошей кроющей способности, дешевизны, простоты приготовления и нанесения на изделия. Составы промазок приведены в табл. 12.

Для промазок плит от прилипания тонина помола характеризуется остатком на сите № 006 (10 000 отв/см²) не более 3—8%, для промазок от засорки до 0,1—0,2. Влажность промазок для шлифовки капселя 29—32%, для промазки бомз и капселей до 50—60%. Наносят промазки путем погружения капселя в суспензию или полива. Толщина слоя промазки 0,2—0,3 мм при плотности суспензии 1,45—1,5 г/см³. Расход промазки на 1000 тарелочных капселей 7—8 кг. Для устройства этажерок на вагонетках используют шамотноглиняную связку с добавкой 1—1,5% жидкого стекла. Промазка капселей и этажерного припаса способствует не только снижению засорки в 2—3 раза и прилипаемости изделий, но и удлиняет срок службы огнеупорного припаса в 1—1,5 раза.

Для ремонта шамотных капселей — замазки трещин и склеивания битых капселей применяют замазку из 1 ч. по массе жидкого стекла плотностью 40° Ве, 1 ч. по массе огнеупорной глины, 0,7 ч. по массе шамотной пыли. Для склеивания разбитых капселей используют также замазку, состоящую из 3 ч. по массе жидкого стекла и 1 ч. по массе тонкомолотых кварца, шамота, боя изделий или сырого каолина. После склеивания и выдержки в продолжение 24 ч, что продлевает срок службы капселя на 1—4 оборота, капсель поступает под загрузку.



Таблица 12. СОСТАВЫ ПРОМАЗОК

| Промазки | Содержание, % | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | Каолин просяновский | Бентонит | Глина веселовская | Доломит | Глинозем технический |
| Против засорки: | | | | | |
| 1-я | — | 2 | 23 | 7 | 68 |
| 2-я | — | 2 | 21 | 7 | 70 |
| 3-я | 30 | — | — | — | 70 |
| Против прилипания: | | | | | |
| 1-я | 20 | — | — | — | 80 |
| 2-я | 15 | — | 5 | — | 80 |
| 3-я | 30 | — | 10 | — | 60 |
| Для капселей и карбидокремниевых плит | 30 | — | — | — | 70 |
| Для бомз | 15 | — | 5 | — | 80 |

В последние годы на Краснодарском фарфоровом заводе опробована в производственных условиях электросварка огнеупорного припаса (шамотного, карбидокремниевого, муллитового).

Технологическая последовательность операции сварки шамотных плит следующая: расчистка краев свариваемых плит, образование электрической дуги между двумя угольными электродами, зажатыми в специальном держателе с водяным охлаждением, заполнение шва расплавленной присадкой и медленное охлаждение. Состав используемой присадки должен быть близок составу свариваемого материала.

Сваривают плиты впритык и вразбежку со снятием фаски. Лучшие результаты получают при снятии фаски глубиной 10 мм под углом 45° по месту сварки с двух сторон плиты. Присадка накладывается слоем в образо-

вавшиеся углубления шва. Плиты подогревают до температуры 350—500° С. Скорость движения дуги около 10 м/ч. Температура на поверхности шва 1959—2050° С. По мере сварки швы закрывают шлаком или асбестом для медленного остывания.

Оборачиваемость сваренных плит до 25 оборотов при утельном обжиге и 4—5 оборотов при политом обжиге фарфоровых изделий.

*Вопросы для самопроверки*

1. **Особенности обжига глиношамотного огнеупорного припаса.**
2. **Особенности обжига карборундового огнеупорного припаса.**
3. **Назначение промазок для огнеупорного припаса.**
4. **Мероприятия по продлению срока службы огнеупорного припаса.**

# ГЛАВА 9. ПОКРЫТИЯ, ИХ ПРИГОТОВЛЕНИЕ И НАНЕСЕНИЕ

## 1. Глазури и ангобы

Для улучшения технических и эксплуатационных свойств и повышения декоративных качеств тонкокерамические изделия обычно покрывают глазурью. Нанесенная в виде тонкой стекловидной пленки глазурь повышает механическую прочность изделий, препятствует проникaнию жидкости и газов в поры изделия, придает поверхности гладкость и блеск, повышает их декоративность и сохраняет подглазурный декор.

Виды глазурей и требования к ним зависят от назначения изделий. Глазурь должна обладать достаточной кислотостойкостью, повышенной термостойкостью и механической прочностью, ударной вязкостью и твердостью 6—7 по шкале Мооса, иметь хороший блеск, ровный розлив и быть хорошо сплавленной без дефектов поверхности.

Глазурный покров обычно бывает толщиной 80—260 мкм, т. е. в среднем 120—140 мкм и представляет собой силикатное стекло непостоянного химического состава.

В поверхностном слое глазурь имеет равномерное строение, изменяющееся по мере приближения к поверхности черепка в результате прорастания кристаллами муллита, взаимодействия с материалом черепка и проникновения в его поры.



Количественно преобладающей фазой глазури является прозрачное стекло. Ее кристаллическая фаза обычно представлена образованиями двух типов: остатками шихты и новообразованиями. Например, в фарфоровой глазури преобладают кристаллы первого типа. Обычно это остатки (1—3%) непрореагировавшего, нерастворившегося в расплаве кварца с размером частиц 20—40 мкм. Из кристаллов — новообразований в фарфоровой глазури присутствуют игольчатые кристаллы муллита длиной до 3 мкм, кристаллы анортита и кристобалита.

Газовая фаза глазури — правильной формы округлые пузырьки размером от 10 до 80 мкм, располагающиеся ближе к контактному слою глазурь — черепок и реже во всей толще глазури. Наличие газовых пузырьков в глазурном покрове снижает его качество и создает предпосылки для образования дефектов на поверхности глазури: пузырей, оспин, наколов, ухудшения микрорельефа поверхности (шагрень глазури) — и может стать причиной образования микротрещин.

Структура глазурного покрова и его состав оказывают влияние на усадку, деформацию и белизну черепка. При высоком содержании оксидов кальция, бария, стронция глазурь может тормозить усадку при обжиге, а при повышенном содержании оксида магния, полевого шпата способствовать увеличению усадки в пределах от 0,8 до 1%. Это объясняется различием в температурах спекания и плавления, КТР, поверхностного натяжения и других параметров глазури и черепка.

При одностороннем нанесении глазури на поверхность изделия влияние ее на черепок проявляется в большей мере и может вызвать деформацию изделия. Глазурный покров, нанесенный с двух сторон на тонкостенное изделие, повышает его прочность на 30—60%, так как составляет 10—15% общей толщины. Использование ценных качеств глазурного покрова возможно только тогда, когда глазурь подбирается в соответствии с конкретными свойствами черепка, на который она наносится.

По составу различают глазури полевошпатовые, борносвинцовые, циркониевые, литиевые и др. Полево-

шпатовые глазури отличаются большой твердостью и высокой температурой плавления. Их используют в производстве изделий из твердого фарфора и твердого фаянса. По просвечиваемости глазури бывают прозрачные и глухие (эмали). Глушение глазурей основано на явлении кристаллизации под влиянием вводимых в их состав добавок, нерастворяющихся в глазурном прозрачном расплаве и препятствующих проникновению света в черепок за счет рассеивания и отражения его. Глухие глазури полностью скрывают естественную окраску изделий после обжига.

По окраске глазури бывают бесцветные и окрашенные. Прозрачные бесцветные глазури используют в производстве всех тонкокерамических изделий. При добавлении в заглушенную глазурь красителя цветовой тон становится тем светлее, чем прозрачнее была глазурь. Окрашивают глазурь, вводя в ее состав красящие оксиды или соли, растворяющиеся в глазурном расплаве, т. н. молекулярные красители, или огнеупорные красящие вещества в тонкодисперсном состоянии, равномерно распределяющиеся в массе глазури, т. е. коллоидные красители.

Матовость глазури на изделиях декоративно-художественного назначения достигается как за счет изменения ее состава, так и путем соответствующей обработки: недожогом, образованием мельчайших газовых пузырьков ($CO_2$) при разложении карбонатов, кристаллизацией прозрачной глазури при охлаждении, снижением коэффициента кислотности свинцовых глазурей и др. Для получения матовых глазурей в них также вводят повышенное количество $Al_2O_3$, $TiO_2$, $CaO$, $Na_2O$, $MgO$, $BaO$ и других оксидов, снижая при этом содержание $SiO_2$. Для получения матовых глазурей необходимо, чтобы $Al_2O_3:SiO_2 = 1:5$, а добавка компонентов, вызывающих матовость глазури, составляла: $CaO$ 0,2—0,5 моля, $ZnO$ до 0,3 моля. При вводе $MgO$ матовость исчезает. Цветовая гамма матовых глазурей более ограничена, чем глянцевых. На получение матовой глазури также оказывает влияние скорость охлаждения и печная атмосфера.

Кристаллизация глазури может быть двух видов: крупнокристаллическая и мелкокристаллическая. Крупнокристаллическая глазурь имеет группы кристаллов, внедренные в нее или находящиеся на ее поверхности в



виде сферолитов. Это высокотемпературные глазури. Мелкокристаллические (авантюриновые) глазури содержат кристаллы, равномерно распределенные в массе, отражающие и поглощающие световые лучи. Эти глазури имеют золотистый оттенок при наличии кристаллов гематита $Fe_2O_3$ или фаялита ($2\,FeO \cdot SiO_2$), распадающегося затем на оксид и металлическое железо. Кристаллические глазури получают при соответствующем режиме обжига путем пересыщения глазурного распада оксидами, способными при охлаждении создавать центры кристаллизации, снижения вязкости глазури в направлении, благоприятствующем росту зародившихся кристаллов, выдержки 1—2 ч при максимальной температуре, регулирования скорости нагрева и охлаждения изделий, изменения газовой среды во время обжига изделий, увеличения толщины слоя глазури примерно до 2 мм.

Металлизация глазури достигается также за счет восстановления оксидов меди, никеля, кобальта и других до металлического состояния путем создания восстановительной среды при соответствующих температурах обжига изделий.

Глазури «кракле» получают путем искусственного образования густой сетки трещин глазури из-за большого несоответствия КТР глазури (больше) и черепка, а также резкого охлаждения изделий холодной водой. Образовавшиеся трещины глазурного покрова заполняют красителями или покрывают слоем глазури и повторным обжигом закрепляют краски.

По температуре плавления глазури бывают легкоплавкими и тугоплавкими с температурой розлива 1100° С и выше. Тугоплавкие глазури богаты кремнеземом и бедны щелочными и щелочноземельными оксидами, легкоплавкие — наоборот.

По способу приготовления глазури бывают нефриттованные — сырые и фриттованные. Сырые глазури используют, если в их составе нет компонентов, растворимых в воде, а фриттованные — если их отдельные составные части (сода, бура и др.) растворимы в воде. В этом случае всю глазурную шихту или часть ее предварительно фриттуют, т. е. сплавляют, при этом растворимые компоненты переходят в нерастворимое состояние. Фриттование способствует понижению температуры розлива глазури и делает ее более однородной. Сырые

глазури используют в производстве фарфоровых и полуфарфоровых изделий, а фриттованные — в производстве фаянсовых, майоликовых, тонкокаменных изделий, изделий из низкоспекающихся масс, мягкого фарфора. Глазурный покров снижает белизну изделия на 5—7%.

В *состав глазурей* независимо от вида и способа производства изделий всегда входят кремнезем и глинозем в сумме 82—90%. При этом содержание $SiO_2$ примерно в 10 раз больше, чем $Al_2O_3$, а силикатный модуль ($SiO_2$:$Al_2O_3$) составляет 4,2:6,2. Остальные оксиды, входящие в состав глазурей в небольших количествах, корректируют ее свойства применительно к видам изделий и способу производства.

Глазури для фарфоровых изделий малокомпонентны, тугоплавки, по составу близки к составу черепка изделий. Это способствует образованию развитого контактного слоя между черепком и глазурью с минимальными напряжениями, что исключает возможность возникновения цека. Бесполевошпатовые глазури обладают повышенной механической прочностью и химической стойкостью, имеют пониженный КТР.

Установлено, что если КЛР глазури на 6—15% меньше, чем КЛР черепка, то в ней возникают напряжения сжатия от 3—3,4 до 8—12 МПа, в результате чего глазурный покров тонкостенных изделий как бы обжимает черепок, повышая на 30—60% прочность изделий.

С понижением температуры и сокращением длительности обжига изделий все большее значение приобретают легкоплавкие полевошпатовые глазури для мягкого фарфора, полуфарфора, тонкокаменных изделий. Снижение температуры розлива таких глазурей достигается понижением количества $Al_2O_3$ и $SiO_2$, повышенным содержанием полевого шпата, мела, доломита, углекислого бария, селитры и других компонентов. При повышении содержания глинозема и величины отношения $Al_2O_3$:$SiO_2$ увеличивается тугоплавкость глазури. Увеличивая присутствие в глазури щелочных оксидов ($Na_2O+K_2O$), учитывают, что при их общем содержании более 28% глазурь легко размывается водой, а при наличии CaO более 16—18% глазурь расстекловывается. Изменяя содержание в глазури щелочных и щелочноземельных оксидов, регулируют КТР глазури, модуль упругости, температуру розлива и другие свойства. Оптимальное соотношение $K_2O$:$Na_2O$ должно быть не менее 2, CaO:MgO — не менее 1, а сумма RO должна превышать сумму $R_2O$ не менее чем в 3 раза.



Глазури для фаянса отличаются от глазурей для фарфора большим количеством входящих в их состав оксидов, меньшим коэффициентом кислотности 1,5—2,5, бо́льшим КТР 5—6,8·$10^{-6}$ 1/°C, склонностью к цеку ввиду значительного отличия от состава фаянса, слабо развитым контактным слоем, меньшей твердостью и прозрачностью. Они более легкоплавкие, чем фарфоровые.

Компоненты глазури вводят: оксид лития — сподуменом или карбонатом лития; оксид натрия — плагиоклазом, пегматитом, полевым шпатом, содой и др.; оксид калия — полевым шпатом, пегматитом, поташом; оксид магния — доломитом, магнезитом; оксид кальция — мрамором, мелом, доломитом; оксид стронция — целестином; оксид бария — витеритом и т. д. По влиянию на плавкость и температуру розлива глазури оксиды могут быть расположены в ряд $BaO > K_2O > Na_2O > ZnO > CaO > MgO$.

Изменяя химический состав глазурей, исходят из различного действия оксидов. Диоксид кремния повышает тугоплавкость, вязкость расплава, механическую прочность и химическую устойчивость глазури, понижает КТР глазури.

Оксид алюминия повышает тугоплавкость и вязкость расплава, улучшает упругость и химическую устойчивость глазури.

Оксид свинца, являясь сильным плавнем, удлиняет интервал плавкости, улучшает розлив, повышает блеск и яркость надглазурных красок, снижает твердость глазури. Однако в СССР использование свинца в глазурях изделий хозяйственно-бытового назначения запрещено.

Карбонат бария, вводимый в состав глазури в количестве 4—5%, повышает блеск глазури, способствует розливу, понижает стойкость против цека.

Оксиды калия, натрия, лития, являясь сильными плавнями, понижают температуру розлива глазури, способствуют растворению в глазури других оксидов, изменяют вязкость ($Na_2O$ — уменьшает, $K_2O$ — повышает), снижают прочность и химическую устойчивость глазури. Оксид кальция придает глазури прочность и блеск.

Диоксид циркония используют во фриттованных глазурях для изделий, обжигаемых при температурах

1050—1180° С. Качество глушения глазури зависит не только от содержания в ней диоксида циркония, но и от соотношения других оксидов ($B_2O_3+Na_2O+K_2O$, $SiO_2$ и $Al_2O_3$).

В качестве основного плавня в состав фритты вводят $B_2O_3$ в виде буры или гидроборацитов при общем содержании щелочных оксидов в пределах 4—7%. Цирконовые глазури склонны к образованию наколов тем больше, чем ниже их вязкость и поверхностное натяжение при температуре розлива. Этот дефект можно устранить, повышая вязкость и поверхностное натяжение при розливе, а также снижая температуру обжига. Применение цирконовой глазури вместо стронциевой улучшает внешний вид, повышает белизну, придает больший блеск, устраняет матовость, полосность и серовато-зеленый оттенок на фаянсовых изделиях.

Вводом борного ангидрида снижают коэффициенты линейного и термического расширения, что уменьшает напряжения, возникающие между глазурью и черепком.

Для повышения белизны глазури в состав фритты (сверх 100%) вводят 0,01—0,04% сернокислого кобальта.

Глазури темных цветов: черного, темно-коричневого, вишневого — для фарфоровых, фаянсовых и майоликовых изделий могут быть получены на основе андезита с минимальным вводом CoO, $Fe_2O_3$ и других красящих оксидов. Глазури на основе андезита или перлита, в том числе и низкотемпературные (950—1150° С) — фриттованные. Глазури глухие обладают высоким зеркальным блеском (63—74%), сочностью и глубиной цвета. Если андезитовые глазури имеют темную до черной окраску, то перлитсодержащие глухие глазури имеют белизну 76—88%. Эти глазури обладают повышенной термостойкостью.

*Свойства* глазурей принято характеризовать в расплавленном и твердом состоянии. В расплавленном состоянии глазури характеризуются температурой начала розлива, вязкостью и поверхностным натяжением. Температура начала розлива определяется появлением первых капель расплава глазури на поверхности изделий. Температура розлива — это интервал температур, в котором глазурь равномерно распределяется в расплавленном состоянии на изделии, не всасывается его порами и после охлаждения образует ровный и зеркальный



Таблица 13. **ТЕМПЕРАТУРЫ ПЛАВЛЕНИЯ ГЛАЗУРЕЙ**

| Изделия | Начало усадки, °С | Начало спекания, °С | Конец спекания (начало течения), °С | Плавление (начало), °С |
|---|---|---|---|---|
| Фарфоровые | 1100—1150 | 1140—1180 | 1220—1250 | 1250—1280 |
| Фаянсовые | 700—750 | 850—900 | 1060—1100 | 1050—1150 |
| Низкотемпературного фарфора (из низкоспекающихся масс) | 750—1070 | 750—1070 | 900—1160 | 1120—1160 |
| Полуфарфоровые | 1000—1020 | 1060—1080 | 1100—1130 | 1140—1160 |
| Тонкокаменные | 1080—1090 | 1100—1150 | 1110—1180 | 1200—1220 |
| Майоликовые | 720—780 | 820—860 | 920—960 | 900—1000 |

слой. Эти показатели глазури зависят от ее состава, тонины помола исходных компонентов и длительности нагрева.

Температуры плавления глазурей приведены в табл. 13.

Степень измельчения компонентов глазури и фритты значительно влияет на цветовой тон глазури. Это объясняется тем, что при впитывании черепком глазурной суспензии твердые частицы глазури движутся к черепку с различной скоростью, поэтому гранулометрический состав глазурного слоя на поверхности изделия и на черепке будет различным, что не может не влиять на цвет обожженной глазури. На цвет глазури также влияет температура обжига.

Температура розлива глазури зависит от пористости черепка изделий. Огнеупорность полевошпатово-известковой глазури ниже температуры ее розлива на пористом материале типа фаянса на 100—110° С, на полуфарфоре — на 40—50° С. Температуру розлива глазури регулируют изменением ее состава.

Вязкость глазури оказывает большое влияние на ее розлив и кристаллизацию, а на саму вязкость влияет изменение эффективного радиуса ионов элементов, вводимых в глазурь. Увеличение ионного радиуса элемента способствует повышению вязкости расплава глазури. Нормальная вязкость, обеспечивающая хороший розлив

фарфоровой глазури — 200—250, фаянсовой — 100—700 Па·с. Вязкость глазури регулируют вводом в ее состав соответствующих добавок. Кремнезем и глинозем обычно повышают вязкость, а водяной пар, CO, $H_2$, $H_2S$ понижают вязкость расплава глазури. Температура затвердевания расплава фарфоровой глазури 1050—1070° С, что соответствует вязкости 10—13 ГПа·с, поверхностное натяжение глазурей составляет 295—525 МН/м.

При ускоренном, а тем более однократном обжиге процессы, протекающие в глазурях, смещаются в область более высоких, чем обычно, температур, накладываются друг на друга, сопровождаясь обильным газообразованием в коротком температурном интервале и пиропластическом состоянии. В этих условиях возможность возникновения дефектов глазурного покрытия повышается.

Поскольку глазури при нагревании постепенно размягчаются и происходит это в определенном температурном интервале, важно, чтобы он был минимальным и соответствовал температуре политого обжига изделий или был бы несколько ниже. Другим важным требованием для автоматизированного производства изделий является подбор такого состава глазури, который обеспечивал бы расплавление всех компонентов в коротком температурном интервале при сокращенном цикле обжига (3—5 ч). Глазури для автоматизированного производства изделий должны иметь более высокую тонину помола (остаток на сите № 0056—10 085 отв/см² не более 0,1%), чем для обычных условий производства. Тонкий помол ускоряет и улучшает розлив глазури, уменьшает склонность к цеку за счет лучшего растворения зерен кварца в полевошпатовом расплаве. Уменьшение толщины слоя глазурного покрова даже при короткой выдержке при температуре розлива глазури способствует снижению напряжений между глазурью и черепком. В период розлива глазурь поглощает больше кремнезема и глинозема из черепка, приобретает большую устойчивость к деформациям, а увеличение толщины контактного слоя способствует лучшему закреплению глазури на черепке.

Для скоростного однократного обжига лучше использовать маловязкие глазури, обеспечивающие хороший розлив за короткое время нагрева и способствующие удалению газов из черепка. В глухих глазурях вязкость должна быть достаточной для проявления эффекта глушения и не должна быть слишком высокой для достижения хорошего розлива. В таких глазурях количество щелочных компонентов снижают за счет повышения содержания щелочноземельных оксидов. В тех случаях, когда для глушения используется циркон, рекомендуется его заменить на диоксид титана и ввести в глазурь добавки, понижающие поверхностное натяжение. Это объясняется тем, что в условиях однократного скоростного обжига циркон не может проявить в полной мере свойства глушителя.

**Ангобы** — матовые белые или цветные покрытия, наносимые обычно на лицевую поверхность изделия для получения более гладкой поверхности, скрытия нежелательной окраски черепка, создания рельефного рисунка. Приготовляют ангобы из тугоплавких, светложгущихся глин (для архитектурно-строительной керамики) или же из легкоплавких глин (для майоликовых изделий). Для получения необходимой окраски используют красящие пигменты. По составу ангобы бывают глинисто-песчаные (для майолики) и флюсные (для архитектурно-строительной керамики). Наносят ангобы на сырые, слегка подвяленные изделия. Иногда на изделия, покрытые ангобом и обожженные, наносят прозрачную глазурь.

Ангоб по своим свойствам является промежуточным слоем между черепком и глазурью, т. е. неполностью расплавленным (водопоглощение — 0,1—0,2%), но по сравнению с материалом изделия более плотным. Спекшийся ангоб должен обладать рядом свойств, присущих глазури. Почти полное спекание ангобного слоя обеспечивает достаточную прочность сцепления его с изделием. Прочность сцепления черепка и ангоба больше в тех изделиях, в которых КТР черепка и ангоба близки между собой или КТР ангоба ниже КТР черепка.

*Вопросы для самопроверки*

1. **Виды глазурей и требования к ним.**
2. **Оценка глазурей по качеству.**
3. **Свойства глазурей и способы их регулирования.**
4. **Ангобы,** назначение и свойства.

## 2. Приготовление глазури

Приготовление сырой глазури осуществляют в последовательности, приведенной на рис. 76.

Полевой шпат и кусковой кварц предварительно промывают водой и обжигают: полевой шпат при 900—1000° С, кварц при 1250—1280° С. После обжига материалы сортируют и измельчают на бегунах с гранитными катками. Мел дробят до кусков размером 50—60 мм и сортируют, удаляя куски с железистыми соединениями и кремневой галькой. Диоксид циркона ZrO или циркон $ZrSiO_4$ мелят в шаровой мельнице мокрого помола до зерен размером 5—8 мкм. Соотношение циркона и уралитовых шаров 1 : 2. Продолжительность помола не менее 100 ч.

Глазурную суспензию приготовляют совместным помолом всех компонентов в шаровой мельнице, так как содержание глинистых в общей массе не превышает обычно 8—10%. Соотношение материала, мелющих тел и воды 1 : 1 : 0,8. В качестве мелющих тел предпочтительнее использовать фарфоровые или уралитовые шары, чем кремневую гальку. Качество воды характеризуется величиной водородного показателя pH, указывающей на концентрацию ионов водорода (для дистиллированной воды pH=7). Растворы с pH<7 и pH>7 по сравнению с дистиллированной водой обладают соответственно кислой и щелочной средой. Вода для глазури должна иметь pH=7,7—8. Дозирование твердых компонентов — весовое, жидких — объемное. Во избежание осаждения твердых частиц глазурной суспензии в шаровой мельнице рекомендуется добавлять кроме глины и каолина еще 0,2—0,3% буры, сернокислого магния, хлористого аммония, хлористого кальция.

В зависимости от состава компоненты глазури загружают в шаровую мельницу в один или два приема. При загрузке шаровой мельницы в два приема сначала загружают крупнозернистые составляющие: полевой шпат, кварц, шамот и другие — и часть глины (3—5% ее общего количества по рецепту). После размола в течение 10—12 ч добавляют остальные компоненты. Общая продолжительность помола 30—70 ч при окружной скорости мельницы с фарфоровыми шарами — 2, с уралитовыми — 1,3—1,5 м/с.

Недостаточное измельчение компонентов глазури



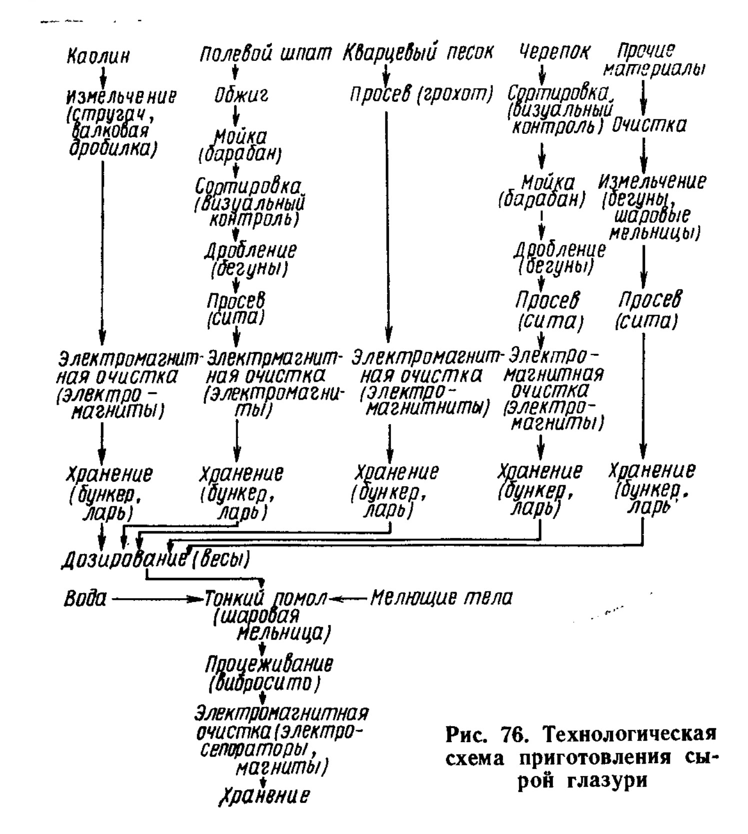



**Рис. 76. Технологическая схема приготовления сырой глазури**

замедляет реакцию сплавления, ухудшает розлив и блеск, приводит к появлению дефекта глазурного покрова — волнистости. Чрезмерно измельченные глазури очень быстро плавятся, что может вызвать стягивание глазури в капельки и складки (сборка глазури) либо впитывание глазури в изделие (сухость). Очень тонкий помол приводит также к увеличению усадки глазурного покрытия при обжиге и образованию внутренних напряжений между глазурью и черепком.

Готовую глазурную суспензию сливают в пропеллерную мешалку, предварительно пропустив через феррофильтры и лотки с постоянными магнитами и вибрационное сито с верхней сеткой № 0075—5100, нижней № 009—3900 отв/см². В мешалке глазурь поддерживают в состоянии движения, что препятствует ее расслоению.

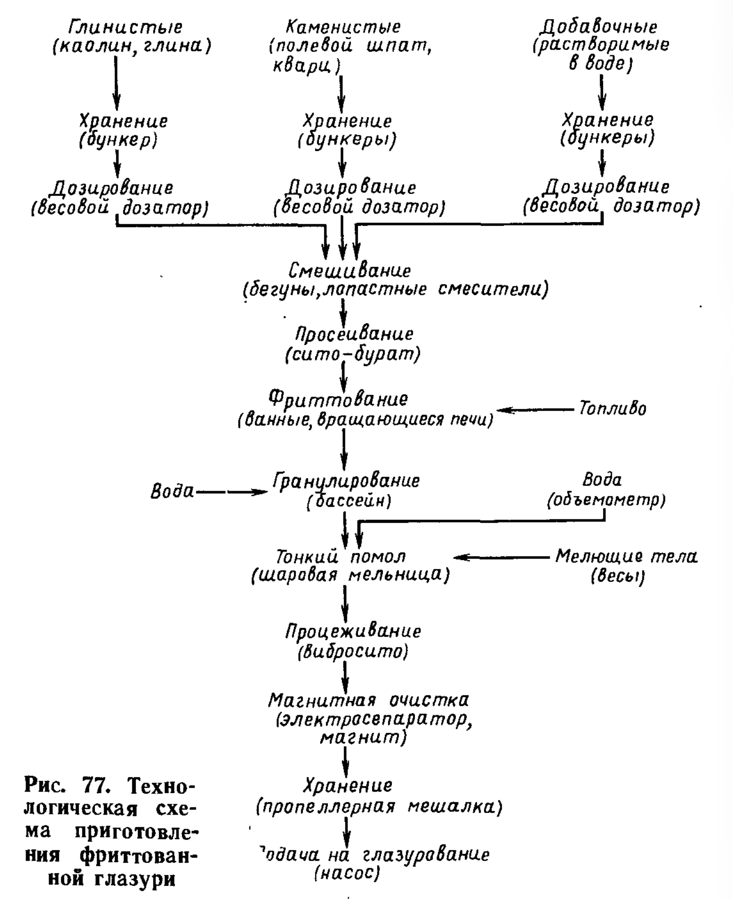



**Рис. 77. Технологическая схема приготовления фриттованной глазури**

Ангобы приготовляют по технологической схеме приготовления сырых глазурей.

Фриттованная глазурь необходима в производстве фаянсовых, полуфарфоровых, майоликовых изделий, изделий из низкотемпературного фарфора и тонкокаменных. Эти глазури состоят из фритты (50—92%) и глины (50—8%). Основным технологическим процессом является фриттование части или всех компонентов глазури.

Смешанные и просеянные через сито № 07 (98 отв/см²) компоненты фритты сплавляют в одно- или двухванных непрерывно действующих печах, а также во вращающихся печах периодического действия при 1200—1400° С. Последовательность операций приготовления фриттованной глазури приведена на рис. 77. Технико-экономические показатели работы печей для варки фритты приведены в табл. 14. Более экономична варка фритты в конвекторной печи (рис. 78). Продолжительность плавки от 1 до 10 ч. Расход условного топлива на 1 т фритты 0,3—0,95 т. Расплавленную фритту выпускают в бассейн с проточной холодной водой, вследствие чего она распадается на куски размером до 5—10 мм и становится хрупкой, что облегчает помол. Тонкий помол и последующие операции осуществляют в той же последовательности, как и при подготовке сырых глазурей.

Таблица 14. **ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ ВАРКИ ФРИТТЫ**

| Показатель | Конвекторная печь | Ванная печь | Вращающаяся печь |
|---|---|---|---|
| Производительность, кг/ч | 750 | 416 | 70 |
| Размеры варочного бассейна: | | | |
| длина, м | 1,4 | 4,8 | 2,5 |
| ширина, м | 0,7 | 1,6 | — |
| объем, м³ | 1,85 | 10 | 0,97 |
| Расход природного газа, м³/ч | 450 | 260 | 70 |
| Удельный расход условного топлива на 1 кг фритты, кг | 0,729 | 0,76 | 1,22 |
| Удельный расход теплоты, ГДж/кг | 21,42 | 22,26 | 35,7 |
| Удельный расход электроэнергии, МДж/кг | 10,8 | 0,22 | 0,51 |
| Удельная стоимость сооружения печи на 1 т фритты, руб. | 5,41 | 6,18 | 6,94 |

Глазурная суспензия, особенно фриттованная, имеет ярко выраженную склонность к расслоению. Для нормализации свойств глазурной суспензии за 30—40 мин до ее слива в шаровую мельницу вводят 0,2% концентрированной соляной кислоты. Добавка в глазурь глицерина (0,5—1%) или КМЦ (0,1—0,2%) улучшает кроющую способность глазури и сцепляемость ее с черепком. При однократном обжиге для нанесения глазури по высушенному черепку плотность глазурной сус-

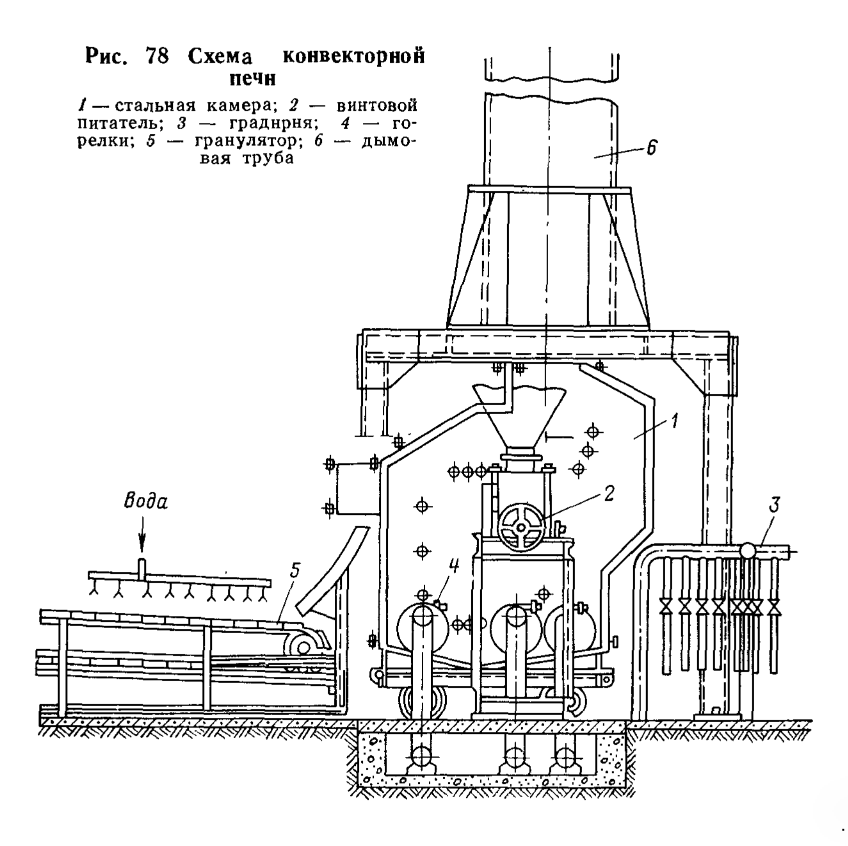



**Рис. 78 Схема конвекторной печи**

*1* — стальная камера; *2* — винтовой питатель; *3* — градирня; *4* — горелки; *5* — гранулятор; *6* — дымовая труба

пензии повышают до 1,55—1,7 г/см³ за счет увеличения содержания глинистых материалов до 8—15%. Для однократного обжига необходима более пластичная глазурь с той же усадкой, что и у черепка, для двукратного — тощая, с меньшей усадкой.

Глазури, имеющие повышенные щелочность (pH=9—11) и плотность (1,8—2 г/см³), лучше применять для глазурования плотного черепка. Для фаянсовых изделий используют менее плотные суспензии 1,42—1,44 г/см³ с pH=7—8, майоликовых — 1,25—1,35 г/см³. Плотность глазурной суспензии для фарфоровых изделий должна быть 1,35—1,42 г/см³. При использовании цветных глазурей для получения слоя глазури большей толщины ее плотность повышают до 1,45—1,46 г/см³.

При глазуровании крупногабаритных изделий используют более плотные суспензии. Если при глазуровании погружением и поливом нормальная плотность фарфоровой глазурной суспензии составляет 1,35—1,42 г/см³, то при глазуровании пульверизацией она повышается до 1,5—1,6 г/см³ (по денсиметру). Плотность глазури также повышается при нанесении ее на высушенные при однократном обжиге или пережженные изделия. Для недожженных при утельном обжиге изделий применяют более жидкую глазурную суспензию.



Доводку глазури до заданной плотности и влажности 45—50% производят в мешалке путем добавления воды при непрерывном перемешивании. При подаче глазурной суспензии в расходные мешалки ее подвергают дополнительной двухступенчатой магнитной сепарации на феррофильтрах и постоянных магнитах, а также процеживанию на вибросите № 0071 (6400 отв/см²). Приготовленная к использованию глазурная суспензия проверяется на чистоту по огневой пробе и другим показателям. При необходимости состав корректируется.

Температура глазурной суспензии при нанесении ее на изделие вручную не должна быть ниже 21—30° С. Расход глазури для фарфоровых изделий бытового назначения составляет 7—8% массы обожженных изделий: для чашек 11—13%, для блюдец 13—15%, фаянсовых изделий 5—6%, майоликовых 6—9%.

*Вопросы для самопроверки*

1. **Особенности приготовления сырых глазурей.**
2. **Фриттованные глазури, особенности их приготовления.**
3. **Характеристика глазурных суспензий.**
4. **Регулирование свойств глазурных суспензий.**

## 3. Нанесение глазурного покрытия

Способы нанесения глазурной суспензии определяются видом изделия (полые, плоские), их состоянием (высушенные, предварительно обожженные) и характером производства. Основные условия, обеспечивающие качественное нанесение глазурного покрова, следующие: состояние поверхности изделия, в т. ч. чистота, пористость черепка, плотность и вязкость глазурной суспензии.

Перед глазурованием высушенные или предварительно обожженные изделия тщательно очищают от пыли путем обдува сжатым воздухом (0,2—0,3 МПа)

8* Зак. 331

и волосяной кистью. Места, не подлежащие глазурованию, покрывают смесью из равных частей парафина и керосина, машинным маслом и др. Раствор парафина в керосине наносят в горячем виде, обрабатывая опорные поверхности изделия на сукне или войлоке, пропитанных раствором. Водопоглощение изделий предварительно обожженных должно быть в пределах: фарфоровых 16—19%, фаянсовых 9—12, майоликовых 15—18%.

Глазуруют изделия способами погружения, полива и пульверизации. *Глазурование погружением* выполняется машинным способом, обеспечивающим нанесение глазури ровным слоем толщиной 0,1—0,2 мм. Изделия среднего размера выдерживают в глазури в течение 1,8—3 с, крупные изделия (суповые вазы, блюда и др.) — в течение 3—5 с. Погружением глазуруют чаще всего плоские и реже полые изделия.

Производительность машины для глазурования плоских изделий с диаметром рабочего колеса 800 мм, шириной 100 мм для блюдец и 125 мм для тарелок и частотой вращения соответственно 9,8 и 6 мин$^{-1}$ составляет 18 тыс. блюдец и 10 тыс. тарелок в смену. Машины этого типа, т. н. «беличьего колеса», широко применяются на заводах страны.

На многих заводах применяется также двухрядная машина для глазурования блюдец погружением. По подающему цепному конвейеру машины блюдца, установленные с наклоном (на ребро), доставляются к ванне с глазурью и попадают в утопленные в ней захваты. Вслед за этим вертикальный шток выносит из глазури захваты, которые выталкивают стоящие на ребре блюдца на движущиеся по бокам ванны ленточные приемные конвейеры. Блюдца устанавливаются на ножку и передаются к месту замывки.

Для глазурования полых фарфоровых изделий — чашек используют полуавтомат типа ПГ-2. Он представляет собой трехрядную машину, состоящую из подающего и приемного шагающих конвейеров и захватов, окунающих чашки в ванну с глазурью на 3—4 с.

Глазурование погружением обеспечивает высококачественное покрытие. Этим объясняется широкое распространение данного способа в промышленности, выпускающей керамические изделия бытового, строительного и технического назначения.



*Глазурование поливом* применяется в основном для высушенных и предварительно обожженных полых и реже плоских изделий бытового назначения, а также фаянсовых облицовочных плиток и др.

На некоторых заводах освоено производство чашек с толщиной стенок 2—2,5 мм методом однократного обжига с глазурованием их в два приема: сначала внутренней, а затем после небольшого перерыва наружной поверхности изделия — или же с одновременным поливом внутренней и наружных поверхностей чашки. Раздельно глазуруются внутренняя и наружная поверхности полых изделий в машинах карусельного типа. Отличительная особенность этих машин в том, что высушенные изделия свободно устанавливаются на опорную поверхность в опрокинутом виде и не укрепляются зажимами. Ножки и края изделия предварительно покрывают парафином и не глазуруют. Глазурование происходит в специальной камере над поддоном. Завеса жидкой глазури создается тремя соплами: одним — фонтанирующим снизу и двумя — поливающими сверху. Избыток глазури стекает по поддону через сетку обратно в бак. На выходе из глазуровочной камеры установлено сопло для сдувания сжатым воздухом излишка глазури с вогнутой поверхности донышка. Для удаления кругового натека по краю изделия, покрытого парафином, его после выхода из глазуровочной камеры погружают в ванну с проточной водой. Производительность машины составляет 1,1—1,2 тыс. чашек в час. Карусельные и конвейерные машины для глазурования в два приема просты по устройству, надежны в работе, способствуют повышению производительности труда на 15—30% по сравнению с ручным глазурованием, улучшают условия труда и дают возможность однократно обжигать изделия. Небольшой перерыв около 12—15 с между глазурованием внутренней и наружной поверхностей достаточен для предохранения стенок изделий, особенно краев, от размокания.

Для качественного нанесения глазурного покрытия в два приема необходимо, чтобы при глазуровании внутренней поверхности глазурь не попадала на наружную поверхность изделия, поскольку это вызывает брак в виде чешуи. Поэтому глазуруют внутреннюю поверхность изделия, неподвижного по отношению к струе глазури.

Автоматическая линия типа K/FL — GG народного предприятия «Тюрингия» (ГДР) для глазурования полых и плоских изделий широко применяется на отечественных заводах (рис. 79). Технологические операции на ней выполняются в следующей последовательности. Рабочий устанавливает изделие на дозировочный питатель обдувочной машины *1*. Очищенное от пыли оно поступает на конвейер *2*, передающий его на загрузочный конвейер глазуровочной машины *3*, на котором установлен второй дозировочный питатель. Далее изделие звездчатым питателем подается в приемное устройство поворота стола глазуровочной машины. В пределах зоны полива глазурью изделие вращается на турнетке, частота вращения которой зависит от размера, формы и толщины глазурного покрова.

Глазурь подается циркуляционными насосами в трубопроводы сопл полива сверху и снизу. Излишек глазури через поворотный стол стекает в сборник для повторного использования. После глазурования турнетки с изделиями еще некоторое время вращаются во избежание образования капель. Затем изделия передаются на конвейер *4* и далее на участок замывки *5*. После замывки и визуального контроля их устанавливают в капсели или этажерки вагонеток для обжига.

При необходимости подглазурного декорирования на конвейере предусмотрена установка второго дозирующего устройства, а для художников — рабочие места перед глазуровочной машиной. Производительность установки составляет 1 тыс. тарелок диаметром 240 мм, 1,7 тыс. тарелок диаметром 190 мм, 2 тыс. чашек в 1 ч.

На заводах используются также поточные линии для глазурования фирм «Цейдлер» (ФРГ) производительностью до 14 тыс. чашек в смену и «Нейтчш» (ФРГ) производительностью до 6,5 тыс. чашек в час (рис. 80).

Повышению качества глазурования поливом на этих линиях способствует вращение изделия в процессе глазурования, что позволяет согласовать величину центробежной силы с формой изделия для получения глазурного слоя заданной толщины, правильно расположить трубки, подводящие глазурную суспензию к поверхности изделия, а также точно отрегулировать количество подаваемой суспензии.



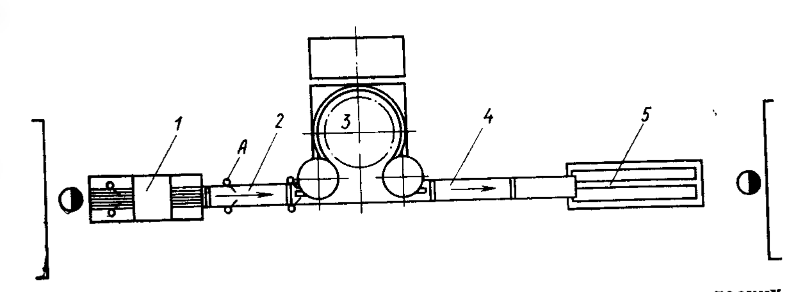



**Рис. 79. Схема автоматической линии глазурования полых и плоских изделий предприятия «Тюрингия»**

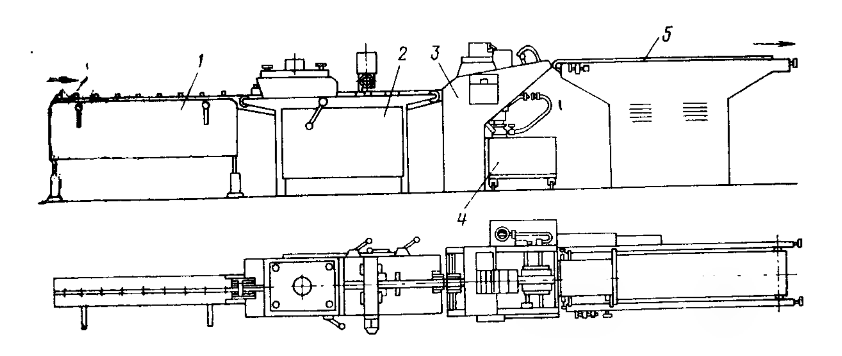



**Рис. 80. Автоматическая глазуровочная линия фирмы «Нейтчш»**

*1* — питатель (дозатор); *2* — машина для клеймения; *3* — глазуровочный автомат типа 610; *4* — ванна для глазури; *5* — ленточное устройство для зачистки ножки от глазури

Глазурование изделий поливом имеет следующие недостатки: слой глазури менее равномерный, чем при глазуровании окунанием, возможна недоглазуровка внутренней поверхности изделий; опорные подставки оставляют следы на изделии; парафиновая изоляция края чашек затрудняет их склеивание и требует дополнительной очистки; при погружении краев чашек в проточную воду не всегда полно снимаются натеки глазури.

*Глазурование пульверизацией* является наиболее универсальным способом, так как позволяет глазуровать изделия любых размеров и форм независимо от пористости, прочности и водоразмываемости полуфабриката. Кроме того, глазурование пульверизацией исключает размокание изделий, не обожженных предварительно, так как глазурь в распыленном состоянии осаждается на поверхности изделия почти сухим слоем.

Лучшему закреплению глазури способствует нагревание изделий перед подачей их в камеру распыления до 50—55° С.

Нанесение глазури пульверизацией может осуществляться или в один или в два приема с незначительным перерывом 12—14 с между глазурованием внутренней и наружной поверхностей. Это предохраняет тонкие стенки изделия от размокания, особенно по краям.

Установки для нанесения глазури пульверизацией работают по принципу распыления глазури пневматическими форсунками или дисковыми распылителями в обычных условиях или в электростатическом поле. Конструктивно установки изготовляются в виде круглых столов или конвейеров.

На рис. 81 изображена установка для глазурования пульверизацией в один прием. Тарелки устанавливают вручную на неподвижные турнетки *1*, закрепленные на вращающемся столе. Затем на позиции *2* их нагревают до 40—45° С мягким пламенем газовых горелок. Турнетки начинают вращаться. Глазурование осуществляется пятью форсунками *4*, к которым глазурь подается насосом из резервуара *3*. Давление воздуха в форсунках составляет около 0,2 МПа, расход воздуха на одну форсунку 0,4—0,5 м³/мин. При нагревании изделий и их вращении в момент глазурования обеспечивается равномерное нанесение слоя глазури. Отглазурованные изделия непрерывно вращаемые, подсушиваются на позиции *6* газовыми горелками. Температура изделий при подсушивании должна быть в пределах 55—65° С. Достаточно остывшие изделия снимают с турнеток на позиции *7*. Стол приводится во вращение бесступенчато регулируемым приводом *8*. Турнетки промываются водой после снятия с них изделий на позиции *9*. Пары глазурной суспензии и газов удаляют с позиции *2* через центральную трубу *10*, а с позиции *5* и *6* — самостоятельными вентиляторами. При диаметре вращающегося стола 4,5 м производительность установки составляет 3 тыс. изделий в час.

Независимо от способа глазурования снятие глазури с ножек полых и плоских фарфоровых изделий или с края полых изделий при обжиге в спаренном виде или на бомзах осуществляется на специальных машинах или вручную на влажных пластах пористой резины. На отечественных предприятиях широко применяются



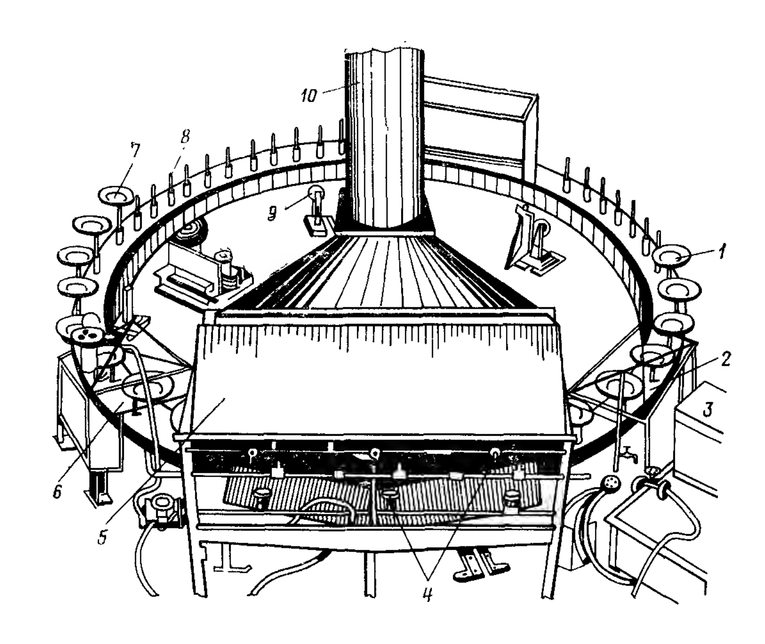



**Рис. 81. Установка для глазурования тарелок способом распыления**

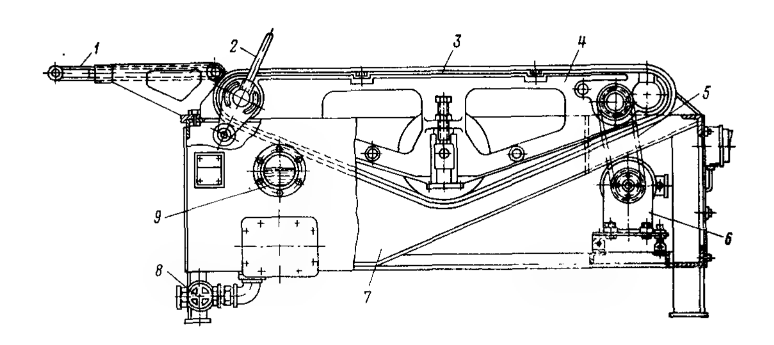



**Рис. 82. Зачистная машина предприятия «Тюрингия»**

*1* — подающая лента; *2* — натяжное приспособление; *3* — очистительные ленты; *4* — станина; *5* — приводная роликовая цепь; *6* — электродвигатель; *7* — ванна; *8* — запорный клапан; *9* — водомерное стекло

зачистные машины производства ГДР для полых (тип K/FzGHo) и плоских (тип K/FzGFZ) изделий. Схема машины для зачистки опорных поверхностей изделий народного предприятия «Тюрингия» приведена на рис. 82.

Полые изделия замывают чаще всего вручную на ленте из пористой резины, движущейся со скоростью 0,174 м/с. Плоские изделия замываются автоматически, так как конвейер машины для замывки имеет две ленты из пористой резины, движущейся параллельно в одном направлении, но с различной скоростью: одна — 0,16, другая — 0,45 м/с. В результате этого тарелка, поставленная на стыке двух лент конвейера, при движении вперед медленно поворачивается вокруг своей оси, ускоряя тем самым снятие глазури с ножки. Резиновые ленты, проходя очистную ванну, промываются чистой водой, затем отжимаются двумя роликами до требуемой влажности. Производительность машин составляет 2 тыс. тарелок в час.

Кроме замывки ножки и краев глазурованных изделий производят зачистку неровностей глазурного покрова, подглазуровку плохо заглазурованных мест, склейку чашек и блюдец, обжигаемых в спаренном или в другом виде. Эти операции выполняют обычно вручную.

**Дефекты глазурного** покрытия могут возникнуть из-за несоответствия состава глазури и черепка, плохой подготовки глазурной суспензии и некачественного нанесения ее на изделия, нарушения условий установки изделий в капсели и на этажерки печных вагонеток, использования некачественного огнеупорного припаса и плохой его промазки.

*Цек* глазури (волосные трещины) возникает при $КТР_г > КТР_ч$. Он проявляется или сразу после обжига, или после длительной эксплуатации фаянсовых и майоликовых изделий вследствие дополнительного расширения их черепка в результате поглощения влаги. Возникновение цека возможно и при $КТР_г = КТР_ч$ из-за термических напряжений, возникающих при охлаждении изделий, так как глазурь охлаждается быстрее черепка. Появлению цека способствует повышенная плотность глазурной суспензии, нанесение суспензии толстым слоем, недостаточно тонкий помол кварца в массе, недостаточное развитие переходного слоя.

Образование цека также возможно при использовании недомолотой глазури. К цеку приводит и нанесение легкоплавкой глазури на тугоплавкий фарфоровый черепок. Непостоянство первого обжига фаянсовых изделий вызывает отклонения в величинах КТР массы и глазури, что также может быть причиной цека. Он может проявиться при плохом проплавлении фритты, недостаточной эластичности глазури, использовании песка с зернами окатанной формы.



Для устранения цека рекомендуется изменить состав глазури и черепка, увеличить содержание $SiO_2$ в глазури, а также $CaO$ и $MgO$ за счет снижения содержания $Na_2O$ и $K_2O$, повысить эластичность глазури и тонину помола, уменьшить толщину глазурного покрытия, повысить температуру обжига и длительность выдержки при максимальной температуре, повысить качество фритты фаянсовых глазурей.

*Отслаивание* глазури возникает при $КТР_г < КТР_ч$, чрезмерно тонком помоле глазури, пережоге фаянсовых изделий. Для устранения этого явления в глазурную суспензию в процессе приготовления вводят карбонаты натрия, бария или криолит (2—5%). Отслаивания глазури можно избежать, если смачивать края изделий карбонатом натрия.

*Мелкие поверхностные трещины* на глазури появляются в результате модификационных превращений кварца и кристобаллита в черепке изделия. Повышенное поверхностное натяжение глазури в пиропластическом состоянии, являющееся чаще всего следствием излишней тонкости помола, приводит к возникновению внутренних напряжений в слое глазури и образованию волосных трещин. Устранению поверхностных трещин способствует добавка в массу кварцевой муки, боя обожженных изделий, известкового шпата, доломита за счет уменьшения содержания глины, каолина, полевого шпата, повышения тонкости помола кварца.

*Сборка глазури* — стягивание в капельки и складки, возникает при чрезмерном измельчении компонентов глазурной суспензии, плохой обдувке изделий от пыли перед глазурованием, повышенном содержании в глазури сырого каолина и глины.

*Плохой розлив* глазури возможен при недостаточном помоле ее компонентов, недожоге изделий, несоответствии состава глазури температуре обжига, низком качестве фриттования. При этом глазурь имеет слабый блеск и возможна волнистость поверхности.

*Наколы* в виде точечных впадин размером 1—2 мм, незаполненных глазурью, возникают в результате разрыва газовых пузырьков в период розлива глазури, а также впитывания глазури крупными порами черепка.

Наличие газовых пузырьков вызывает и такие дефекты, как *прыщ и пузырь*. Количество пузырьков в глазури возрастает с увеличением толщины слоя глазури. С увеличением продолжительности и температуры обжига растут и размеры пузырьков и их количество в поверхностном слое глазури. Размер прыща 1—2 мм, пузыря — до 2—3 мм.

Большое влияние на образование наколов оказывает печная атмосфера. Сернистые соединения, взаимодействуя с компонентами глазури, изменяют ее состав и свойства. Поверхность глазури становится неровной, рыхлой и пористой. По отрицательному воздействию отдельных компонентов печной атмосферы на вспучивание глазури и образование наколов их можно расположить следующим образом: водяной пар $<$ диоксид углерода $<$ оксид углерода $<$ водород $<$ сернистый газ. Одно из средств борьбы с наколами — замена газообразующих компонентов глазури (доломита, мела или мрамора) щелочноземельными силикатами, например тальком.

Если плавление глазури произошло раньше, чем усадка массы изделия достигла 90% своей величины, то газы, проникающие в глазурный покров из черепка и насыщающие его, также могут вызвать наколы, прыщ, пузырь.

Образованию наколов способствуют также плохая обдувка изделий перед глазурованием, неравномерность глазурного покрытия, недостаточная температура предварительного обжига. Наколы могут образоваться и при использовании весьма легкоплавкой маловязкой глазури, способной впитываться в крупные поры черепка, особенно при повышенной его пористости. Одной из причин возникновения наколов, прыща и пузыря является науглероживание черепка и запоздалое выгорание органических веществ, имеющихся в нем; при наличии вязкой стеклофазы при 800—1000°С образуется прыщ, при 1000—1200° С — накол и пузырь. Наколы снижают блеск глазури на 5—6%.

Для устранения этих дефектов в период окислительного обжига коэффициент избытка воздуха в печной атмосфере поддерживают на уровне 1,5—1,8, увеличивают выдержку при температуре 800—1000° С, регулируют давление в рабочем и подвагонеточном каналах, изменяют вязкость глазури при розливе. Если глазурь



обладает повышенной вязкостью, удаление газов затрудняется и на поверхности глазури образуются пузырьки. Пузырьки размером менее 0,1 мм невооруженным глазом не обнаруживаются. При большом их количестве глазурь становится мутной. Иногда устраняет наколы окунание изделий в воду перед глазурованием.

*Сухость глазури* — понижение блеска и глянцевитости поверхности — возникает из-за большой и преждевременной впитываемости глазури черепком. Это часто происходит при недожоге фаянсовых и майоликовых изделий во время первого обжига, а также при очень большой влажности глазурной суспензии и нанесении ее слоем недостаточной толщины. При пониженной влажности глазурной суспензии возможно образование таких дефектов, как наплывы и натеки. Устраняют эти пороки, регулируя плотность глазурной суспензии, вращая изделия при глазуровании на полуавтоматах.

*Плешины* — непокрытые глазурью места могут появиться при чрезмерной вязкости глазурной суспензии, малом содержании в глазури пластичной глины, а также попадании на поверхность изделия жирных веществ, плохой обдувки от пыли и др. Устраняют дефект тщательной очисткой глазуруемой поверхности от пыли, а также добавкой в глазурь 1—2% камеди.

*Матовость* глазури возникает вследствие поглощения паров компонентов глазури, например борной кислоты, стенками каселя или этажерным огнеупорным припасом, расслоения глазурного шликера, от воздействия сернистых газов печной атмосферы, удаления летучих при использовании сырых глазурей. Матовость глазури появляется и в том случае, когда температура розлива глазури выше температуры обжига изделий.

*Пятнистость* возникает под влиянием дубильных экстрактов — танина, если они добавляются в глазурную суспензию, воздействия сернистых газов печной атмосферы, попадания в глазурь обрывков проволочной сетки сит (зеленые пятна). При науглероживании черепка в период спекания образующийся $Fe_3O_4$ придает фарфоровым изделиям серую окраску, что снижает их просвечиваемость.

При недостаточном восстановлении изделия получают желтоватый оттенок. Образование желтых пятен на высушенных изделиях указывает на присутствие в

массе водорастворимых соединений ванадия. Для перевода этих соединений в нерастворимое состояние в массу добавляют 0,5—1 % оксида цинка.

*Литейные пятна* образуются на крупных изделиях от удара струи глазурной суспензии о стенку гипсовой формы. В месте удара возникает некоторое уплотнение массы, которое после обжига оказывается настолько плотным, что плохо воспринимает или совсем не воспринимает глазурную суспензию. Пятно имеет окраску, отличающуюся от окраски всего изделия. Для предупреждения литейных пятен рекомендуется наливать глазурную суспензию в форму через воронку, предварительно полив суспензией место предполагаемого удара струи, откорректировав состав для предупреждения расслоению глазури: уменьшить содержание электролитов, повысить содержание боя изделий, проверить глину на содержание хлоридов и сульфатов, дающих пятна и т. д.

*Слипыш* — приплавление изделий друг к другу, к капселю или плитам этажерки — результат неправильной установки изделий в капсели и на этажерку печной вагонетки. Для устранения этого дефекта необходимо улучшить установку изделий в капсели и на этажерку, а также промазку огнеупорного припаса.

*Засорка* возникает в результате использования некачественных капселей и этажерного припаса, плохой их промазки, неисправности толкателей туннельных печей. Замена шамотного огнеупорного припаса на карбидокремниевый и покрытие его алюмофосфатной промазкой снижает вероятность засорки изделий.

*Задувка* — образование темных пятен и полос на глазури возникает вследствие поглощения черепком сажистого углерода, золы и углеводородов из печных газов в период, предшествующий восстановлению (1000—1250° С). Устраняют этот дефект улучшением условий сжигания топлива и поддержанием заданного аэродинамического режима в печи.

*Мушка* — небольшие темно-коричневые пятна на черепке или глазури — результат наличия железистых соединений в массе или глазури (материальная мушка), попадания металлического железа вследствие износа технологического оборудования (аппаратная мушка) или с огнеупорного припаса (горновая). Предотвращают появление мушки многократная магнитная сепарация тонкомолотых порошков, суспензий и шликеров, использование деталей из высокоустойчивых к истиранию сталей и шликеропроводов из цветного металла.



*Вскипание* глазури возможно в том случае, когда температура ее плавления значительно ниже температуры обжига изделия. Вскипание глазури может произойти при наличии в ее составе низкокачественного полевого шпата. Ввод 2—3% глинозема устраняет этот дефект.

*Рябизна* — неровность поверхности. Крупноволнистая рябизна может быть обнаружена невооруженным глазом. Микрорябизна видна только под микроскопом. Рябизна бывает глубокая и мелкая, интенсивная, т. е. покрывающая поверхность целиком, и неинтенсивная — разреженная. Расстояние между двумя смежными возвышенностями микроряби около 100 мкм. Глубокая интенсивная рябизна снижает блеск глазури на 5—7%.

*Волнистость* — макронеровности поверхности, имеющие очень мягкие плавные очертания и незначительную амплитуду, которые резко снижают блеск глазури.

*Крупа* — многочисленные микровыступы, придающие поверхности шероховатость, размером в плане 5—10 мкм, по вертикали 1—2 мкм. Крупа бывает сплошная и несплошная, резкая, если микровыступы выдаются высоко, и ослабленная. Блеск глазури при этом дефекте снижается до 20%.

*Наросты* — скопления вещества, находящегося на глазури и частично заплавленного в ней. Они бывают крупными 10—50 мкм и мелкими — до 10 мкм. Наиболее часто наросты образуются при повышенном содержании сернистого ангидрида в газовой атмосфере печи. При 2%-ной концентрации $SO_2$ наросты могут быть многочисленными.

### *Вопросы для самопроверки*

1. **Факторы, определяющие выбор способа глазурования.**
2. **Способы глазурования и их особенности.**
3. **Пороки глазурного покрытия, причины возникновения и меры их устранения.**

# ГЛАВА 10. ОБЖИГ ИЗДЕЛИЙ

## 1. Назначение и сущность обжига

Назначение обжига — сформировать черепок изделия с заданными физико-техническими свойствами, закрепить глазурь и декор на его поверхности.

Обжиг в производстве керамических изделий — наиболее ответственная технологическая операция и в большинстве случаев завершающая стадия их изготовления. При обжиге протекают сложные химические, физические и физико-химические процессы, формирующие структуру изделий и определяющие их физико-технические свойства: прочность, плотность, водопоглощение и др. От дефектов, возникающих при обжиге, зависит качество готовой продукции: ее сортность и количество брака. Обжиг изделий представляет собой комплекс технологических операций, определяющих характер технологии и длительность производственного цикла, качество изделий и экономику производства. В структуре себестоимости изделий расходы на обжиг составляют около 30%, а трудовые затраты — 25—32% общих затрат на изготовление изделий. Такое положение требует совершенствования обжига и связанных с ним технологических операций. Так, только освоение технологии однократного скоростного бескапсельного обжига в печах щелевого типа при однорядной установке изделий на транспортирующие устройства сокращает продолжительность тепловой обработки изделий до 3—5 ч, уменьшает потребность в огнеупорном припасе в 10—12 раз, значительно снижает трудовые и энергетические затраты на обжиг. Однократный обжиг на 20—25% дешевле двукратного.

## 2. Процессы, протекающие при обжиге

При обжиге в зависимости от термодинамических условий — температуры, газовой среды, аэродинамического режима и состава массы — протекают сложные физико-химические процессы: обезвоживание, разложение компонентов массы и выгорание органических примесей с выделением газообразных продуктов, реакции взаимодействия компонентов массы с образованием новых кристаллических фаз, плавление легкоплавких эвтектик



с образованием жидкой фазы, полиморфные превращения и др.

Превращения минералов массы при нагревании проходят в три этапа: разрушение минерала, полиморфные превращения и образование новых минералов и соединений. Поскольку массы фарфора, полуфарфора, фаянса состоят в основном из трех основных компонентов: глинистые, полевой шпат, кварц, то и процессы между ними протекают в области тройных диаграмм: $K_2O$—$Al_2O_3$—$SiO_2$ и $Na_2O$—$Al_2O_3$—$SiO_2$.

Взаимодействие компонентов массы сопровождается поглощением или выделением теплоты. Считается, что для удаления 1 кг конституционной воды из глинообразующих минералов необходимо затратить 4300 кДж/кг теплоты, для образования жидкой фазы при плавлении компонентов массы — 3400 кДж/кг, диссоциации карбонатов кальция — 2830 кДж/кг, магния — 2750 кДж/кг. Общее теплопотребление при обжиге на преобразование глинистых минералов составляет 2100 кДж/кг.

В зависимости от условий обжига протекающие процессы накладываются друг на друга, смещаясь, особенно при скоростном обжиге, в область более высоких температур. Известно, что при постоянной температуре и длительности нагрева в системе устанавливается равновесие.

Однако при обжиге керамических изделий температурные условия нагрева изделий непрерывно изменяются и равновесие фазовых превращений установиться не может, так как реакции растворения и выделения новообразований протекают медленно, а обжиг проходит слишком быстро. Вследствие этого при термической обработке изделий непрерывно изменяются их объемы, прочность, окраска, механическая и электрическая прочность, термическая стойкость и другие свойства. Так, при обжиге фарфоровых изделий внутренние напряжения в черепке становятся заметными при 130—140° С, интенсивное порообразование — при 180—240° С, изменяясь на всем протяжении нагрева, резко возрастая в период удаления химически связанной воды, снижаясь с наступлением спекания изделий (кривая *3*, рис. 83). Механическая прочность черепка изделий нарастает сначала медленно, увеличиваясь с повышением температуры. Цвет фарфора при 550° С изменяется от серого до серо-розового, светло-розового с уменьшением содержа-

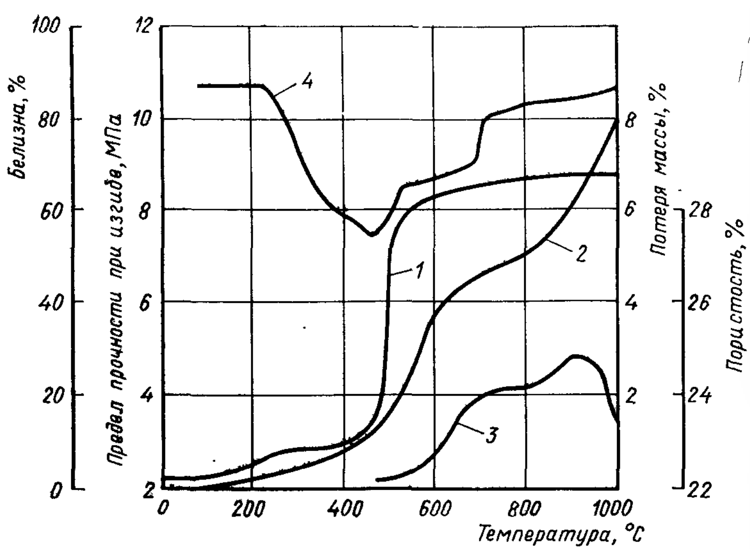



**Рис. 83. Изменения свойств, происходящие в фарфоре при первом обжиге**

*1* — потеря массы; *2* — изменение предела прочности при изгибе; *3* — пористость; *4* — окраска

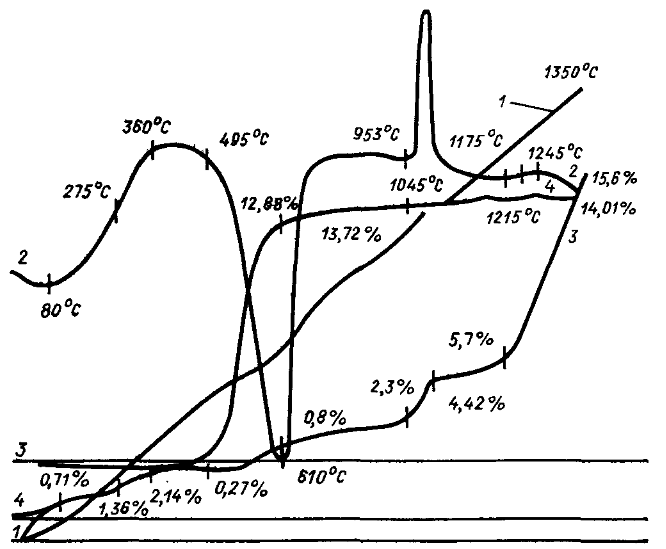



**Рис. 84. Комплексная термограмма отмученного Просяновского каолина**

*1* — температурная кривая нагревания; *2* — дифференциальная температурная кривая; *3* — дилатометрическая кривая; *4* — кривая изменения массы



ния белого цвета. С 700° С интенсивность окраски снижается, а содержание белого цвета увеличивается. Микроструктура фарфорового черепка, обожженного при 1000° С, представлена глинисто-каолинитовым изотропным веществом, кварцем, зернами полевого шпата, слюды. Кварц имеет остроугольную, реже изометрическую форму с едва заметными следами оплавления, особенно на острых углах. Зерна полевого шпата сохраняются без особых изменений, изредка они покрыты трещинами. При дальнейшем повышении температуры более интенсивно взаимодействуют компоненты массы, что приводит к возникновению новых кристаллических фаз, легкоплавких эвтектик и жидкой фазы, к полиморфным превращениям и др. Каолинит и другие глинистые минералы превращаются в муллит и кристобалит, кварц в различные модификации кремнезема, полевой шпат (пегматит) расплавляется, кварц растворяется при участии глинистых минералов.

Каолинит и другие глинистые минералы при нагревании претерпевают наиболее сложные изменения, характеризующиеся термическими эффектами на дифференциальной кривой комплексной термограммы (рис. 84). Экзотермические процессы сопровождаются выделением теплоты и фиксируются на дифференциальной кривой *2* положительными пиками. Эндотермические процессы сопровождаются поглощением теплоты, что отмечено на кривой «провалами» — отрицательными пиками. Кроме дифференциальной кривой на рисунке располагаются кривые температуры нагревания печной среды *1*, изменения объемов *3* и массы образца *4*.

Первый, слабо выраженный эндотермический эффект характеризует удаление свободной воды. Хотя изделия, поступающие на обжиг, имеют незначительную влажность (1—4%), интенсивное удаление ее может вызвать появление трещин. При быстром нагревании удаление влаги происходит при более высоких, чем обычно, температурах — 140—160°С, что может привести к разрушению изделий.

Химически связанная вода удаляется в интервале 450—850° С в зависимости от природы глинистых минералов, их структуры и скорости нагрева. Основное количество (12 из 13%) химически связанной воды удаляется при температуре около 610° С, если длительность нагрева составляет не менее 10—12 мин. При скорост-

ном нагреве удаление остатков (менее 1%) воды заканчивается при 900—1000° С. Удаление химически связанной воды сопровождается четко выраженным эндотермическим эффектом. Разрушаются молекулы каолинита, перестраивается кристаллическая решетка и ослабляется химическая связь между $Al_2O_3$ и $SiO_2$ в каолинитовом остатке. Удаление химически связанной воды сопровождается потерей массы и незначительной усадкой материала, что фиксируется на соответствующих кривых.

Процесс дегидратации каолинита протекает с образованием метакаолинита по реакции

$$Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O \rightarrow Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 + 2H_2O .$$

После обезвоживания в каолинитовом остатке сохраняются некоторая степень кристалличности и следы воды, удаляемой при более высокой температуре. Большинство исследователей рассматривают метакаолинит как промежуточную фазу при переходе каолинита в муллит в процессе нагревания. Другие исследователи высказывают мнение, что продуктом дегидратации молекулы каолинита являются свободные оксиды по реакции:

$$Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O \rightarrow Al_2O_3 + 2SiO_2 + 2H_2O .$$

Процесс дегидратации следует рассматривать как кристалло-химический процесс изменения двухслойной решетки каолинита с поглощением значительного количества теплоты, фиксируемого на кривой эндотермическим эффектом. Первый экзотермический эффект в интервале 900—1050° С (на кривой *2* при 1045° С рис. 84) объясняется перестройкой кристаллической решетки остатка каолинита, возможным распадом метакаолинита на свободные оксиды, разрывом связей между кремнекислородными тетраэдрами и частичным повышением координационного числа ионов $Al^4 - Al^6$; образованием изоморфного глинозема γ-глинозема и его интенсивной кристаллизацией.

Второй и третий экзотермические эффекты соответственно при 1150—1300 и 1210—1320° С связаны с образованием муллита и кристобаллита, а возможно и с кристаллизацией кристобалита из аморфного кремнезема — продукта распада каолинита, хотя последнее мало вероятно из-за высокой растворимости аморфного кремнезема в силикатном расплаве. На кривой эти эффекты



не отражены, хотя хорошо фиксируются на кривой изменения объема.

Муллит образуется из продуктов дегидратации каолинита — свободных оксидов

$$3Al_2O_3 + 2SiO_2 \rightarrow 3Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$$

и метакаолинита

$$3(Al_2O_3 \cdot 2SiO_2) \rightarrow 3Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 + 4SiO_2 .$$

Муллит является наиболее термодинамически устойчивой формой соединения, в которой ионы алюминия частично находятся в четвертной, частично в шестерной координации.

Существует также предположение, согласно которому с разрушением решетки метакаолинита возможно образование чешуйчатого муллита через промежуточную фазу — шпинель по реакции

$$2(Al_2O_3 \cdot 2SiO_2) \rightarrow 2Al_2O_3 \cdot 3SiO_2 + SiO_2 ,$$

сопровождаемое уплотнением черепка. Образование игольчатого муллита начинается при 1200° С. В процессе спекания черепка изделий игольчатый муллит при 1300° С полностью кристаллизуется в первичной стеклофазе, происходит образование вторичной стеклофазы, которая не содержит муллита, поскольку обладает высокой способностью растворять $Al_2O_3$. Ее количество увеличивается за счет растворения кварца. Поскольку аморфный кремнезем, оставшийся при термическом разложении каолинита, в обычных условиях обжига фарфора не переходит в кристобалит, количество последнего в фарфоре не превышает 4%. Таким образом, кристаллическими продуктами изменений каолинита являются муллит и кристобалит (теоретически 63,9% муллита и 36,1% кристобалита). Схема процесса формирования муллита из каолинита может быть представлена так: каолинит→метакаолинит→фаза шпинельного типа→муллитовая фаза→развитие собственно муллита.

На температуру образования муллита влияют также даже незначительные количества каталитически активных примесей или специально вводимые добавки. Важным является то, что даже небольшое количество примесей, всегда имеющихся в глинах, влияет на формирование черепка больше, чем это соответствует их содержанию в массе.

Минерализаторы различно действуют на реакции между твердыми веществами: на образование зароды-

шей (центров) кристаллизации, на скорость кристаллизации, на решетку и свойства кристаллических фаз. Вводом минерализаторов получают изделия с заданными свойствами. Установлено, например, что оксиды лития и фтора в 3 раза интенсивнее оксида цинка уплотняют черепок изделия и при одинаковой пористости на 35—40% больше снижают температуру обжига, повышают механическую прочность. Минерализующая способность катионов постоянного заряда увеличивается с уменьшением их радиуса.

Большое влияние на процесс образования муллита оказывает состав печной атмосферы. Образование муллита в присутствии водяного пара ускоряется в 3,5 раза, водорода — в 2 раза, азота — в 1,6 раза по сравнению со скоростью протекания процесса муллитизации в воздушной среде. Восстановительная среда и присутствие FeO, образовавшегося в результате восстановления $Fe_2O_3$, способствуют более низкотемпературной (около 850° С) кристаллизации муллита из расплава и повышению его содержания в черепке изделий.

Муллит, образовавшийся в черепке изделий при отсутствии жидкой фазы (первичный муллит), находится как бы в зародышевом состоянии, он очень мелкий, трудно различим обычными методами изучения микроструктуры. Установлено, что образование первичного муллита протекает в три стадии: образование изометрических шарообразных зародышевых форм муллита диаметром 0,1—0,2 мкм; рост и спекание изометрических образований с образованием цилиндрических и призматических кристаллов длиной до 10 мкм и их агрегаций; равномерное развитие кристаллов муллита, вкрапленных в стеклофазу.

С повышением температуры обжига изделий содержание муллита снижается, так как происходит интенсивная рекристаллизация мелких кристаллов в полевошпатовом расплаве в более крупные кристаллы вторичного муллита в виде тончайших переплетенных между собой игловидных кристалликов, пронизывающих (армирующих) стеклофазу и влияющих на важнейшие свойства изделий. Максимально возможное количество муллита в фарфоре при введении 50% глинистых компонентов в массу составляет около 25%.

Кварц играет важную роль в формировании черепка изделий, его влияние обусловлено большим разнообра-



Таблица 15. **ОБЪЕМНЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ КВАРЦА (по Р. Барту)**

| Модификация (начальная) | Температура, °С | Модификация (конечная) | Изменение объема, % |
|---|---|---|---|
| β-кварц | 575 | α-кварц | ±2,4 |
| β-кристобалит | 230 | α-кристобалит | ±5,6 |
| α-тридимит | 117 | β-тридимит | ±0,6 |
| α-кварц | 870 | α-тридимит | ±12,7 |
| | 1300—1350 | α-кристобалит | +17,4 |
| β-кварц | 575, 1300—1350 | α-кристобалит | +19 |
| | 575, 870 | α-тридимит | +15,1 |
| | 1710 | Расплав | +19,9 |
| Кварцевое стекло | 1200 | α-кристобалит | —0,4 |
| | 850 | α-тридимит | —4,4 |
| α-тридимит | 1470 | α-кристобалит | +4,7 |
| α-кристобалит | 1710 | Расплав | +0,1 |
| β-кварц | 575, 1350, 230 | β-кристобалит | +14,2 |
| | 575, 870, 163, 117 | β-тридимит | +14,5 |

зием преобразований, претерпеваемых им при обжиге изделий (табл. 15).

Из всех полиморфных разновидностей кристаллического кремнезема в фарфоре основными являются: α и β-кварц, α, β и γ-тридимит. Кристобалит в фарфоре составляет менее 4%. Полиморфные превращения кремнезема не равнозначны по глубине происходящих изменений в кристаллической решетке.

Кремнезем, встречающийся в природе, находится в форме β-кварца. При температуре 575° С β-кварц переходит в α-кварц с увеличением в объеме на 2,4%. Опасность этого перехода повышается тем, что он протекает очень быстро и может стать причиной растрескивания изделий. При температуре 870° С α-кварц переходит в α-тридимит с увеличением объема на 12,7%, а часть α-кварца переходит в α-кристобалит при 1300—1350° С с увеличением объема на 17,4%. Поскольку эти превращения протекают очень медленно, а температурные условия меняются быстро, в черепке изделий, обожженных при 1350—1410° С, будут находиться зерна α-кварца, на

поверхности которых в виде тонкого слоя располагаются зерна α-кристобалита, а также кристаллы муллита, стекловидная фаза и поры. Объемные изменения этих переходов представляют меньшую опасность растрескивания черепка изделий, чем модификационные превращения кварца при 575° С. При охлаждении изделий происходят обратные превращения α-кварца и α-кристобалита.

Превращения протекают с большой скоростью ввиду сходства кристаллических решеток модификаций α, β и γ-формы. Эти превращения не требуют минерализаторов и протекают по схеме

$$\beta\text{-кварц} \overset{575°C}{\rightleftarrows} \alpha\text{-кварц}, \quad \alpha\text{-тридимит} \overset{163°C}{\rightleftarrows} \beta\text{-тридимит}, \quad \gamma\text{-тридимит} \overset{117°C}{\rightleftarrows} \beta\text{-тридимит},$$

$$\alpha\text{-кристобалит} \overset{163-230°C}{\rightleftarrows} \beta\text{-кристобалит}.$$

Объемные изменения кварца при нагревании используют для снижения прочности его перед помолом. При резком охлаждении кварца, предварительно нагретого до 900° С, он разрыхляется и легко измельчается. Несмотря на то, что модификационные превращения кварца протекают в малых температурных интервалах, скорость этих преобразований ниже скорости растворения кварца в полевошпатовом расплаве. Этим также объясняется, например, то, что в фарфоровом черепке кристобалит и тридимит встречаются редко и в небольших количествах.

Наличие примесей и расплава ускоряет модификационные превращения кремнезема и способствует более полному их протеканию. Объемные превращения кремнезема учитываются при определении оптимальных кривых обжига изделий. Фактическое изменение объемов зерен кварца и производимое этим вредное действие значительно ниже теоретически возможного из-за наличия трещин в остаточных зернах кварца, заполненных жидкой фазой, что частично амортизирует объемные изменения и связанные с ними напряжения. В черепке фарфора, например, кварц составляет 8—14%.

Кварц, нерастворившийся в расплаве, способствуя механической прочности изделий, одновременно создает внутренние напряжения из-за значительно большего,



чем у других составляющих черепка, КТР (расширение): кварц — 1,38%, стеклофаза — 0,53—0,79%, понижая этим термостойкость изделий.

Полевой шпат или его заменители играют активную роль в процессах фазообразования при формировании черепка изделий. Полевые шпаты, пегматиты, нефелиновые сиениты создают жидкую фазу за счет собственного перехода в расплав. Мел, доломит, тальк, взаимодействуя с глинистым веществом, кварцем и другими компонентами массы, образуют легкоплавкие эвтектики. При низких температурах до 600—700° С полевой шпат в массе изделий является отощителем. С повышением температуры в полевом шпате начинаются твердофазные процессы спекания с изменением физических и оптических свойств. При наличии различных минеральных примесей легкоплавкие эвтектики возникают в ограниченных количествах, обеспечивающих достаточную связь минеральных частичек для придания прочности черепку изделий задолго до плавления полевого шпата. При достижении температуры плавления полевошпатового расплава последний выполняет роль растворителя кварца и каолинитового остатка, связки непрореагировавших с расплавом кварца и каолинитового остатка, а также активного минерализатора, способствующего протеканию внутримолекулярных превращений каолинита, диффузионных процессов и росту линейных размеров новообразований. При этом происходит насыщение полевошпатового расплава диффундирующими ионами алюминия в расплаве. Полнота протекания этих процессов зависит от растворимости кристаллической фазы в жидкой, количества жидкой фазы и ее свойств — способности смачивать твердые частички, растекаться по их поверхиости и проникать в капиллярные щели между твердыми частичками.

Процесс структурообразования начинается с момента появления жидкой фазы, хотя известно, что реакция в твердой фазе протекает значительно раньше. Твердофазовое спекание находится в прямой зависимости от величины и формы частиц твердой фазы, а также дефектов кристаллической решетки минералов, так как эти факторы определяют поверхностную энергию, которая играет решающую роль в процессах спекания. Реакции в твердом состоянии протекают путем взаимной диффузии ионов в результате непосредственного контак-

тирования плоскостей частиц твердой фазы. При спекании с участием жидкой фазы создаются условия для интенсивного уплотнения черепка и деформации изделий. Размягчение начинается тогда, когда повышение температуры на 1° С вызывает линейное приращение усадки более чем на 0,03% высоты изделия.

В оценке роли плавней в процессах фазообразования большое значение имеют интервал между началом размягчения и плавлением полевого шпата (у ортоклаза 210° С, у альбита 60° С), вязкость расплава при 1330—1400° С (калиевого 10, натриевого 1 ТПа·с), сила поверхностного натяжения, смачивающая способность и т. д. Калиевый полевой шпат образует более вязкий расплав, лучше сопротивляющийся деформационным усилиям и обеспечивающий бо́льшую плотность изделий, чем натриевый. Повышение температуры обжига снижает вязкость расплава и повышает его реакционную способность. По данным А. И. Августиника и других, растворимость кварца в расплаве альбита и ортоклаза при 1300° С составляет соответственно 25—30 и 15—20%, а метакаолинита 8—15 и 5—10%. При 1000° С расплав полевого шпата растворяет от 5 до 6% муллита.

Растворение кристаллических фаз начинается с поверхности и зависит от тонины помола компонентов массы, резко возрастая с уменьшением размера частиц. С повышением тонины помола, например, кварца до 15—30 мкм увеличивается его растворимость в расплаве, что способствует большему насыщению и повышению вязкости расплава.

На растворимость кварца в расплаве влияет и его генезис. Кварц пегматитов растворяется значительно активнее, чем кварцевый песок. Кварц из каолинизированного кварцита (гусевского камня) растворяется активнее, чем кварц из пегматита. Это объясняется тем, что каждое зерно кварца в пегматите или гусевском камне уже в какой-то мере более подготовлено природой в результате длительного физического и химического выветривания, имеет меньшую прочность и бо́льшую трещиноватость. Не затронуто в нем только ядро — центральная часть, что способствует большей реакционной способности этих зерен, чем зерен кварцевого песка. Аморфный тонкодисперсный кварц — продукт дегидратации каолинита — обладает высокой растворимостью в расплаве.



В результате растворения полевошпатовый расплав у поверхности зерен каолинитового остатка насыщается больше глиноземом, у поверхности кварца — кремнеземом. Этим объясняется неоднородность состава (микрогетерогенность) после затвердения и различие свойств стекловидной фазы (показатель преломления колеблется от 1,535 до 1,529, в то время как показатель преломления собственно стеклофазы, например, фарфора 1,48). С повышением температуры обжига объем жидкой фазы непрерывно увеличивается (до 45—65% у фарфора, 20—40% у полуфарфора, 15—25% у фаянса) за счет растворения кварца. Снижение до 8—14% количества нерастворившегося кварца происходит за счет частичного перехода его в кристобалит — в фарфоре это количество снижено до 4%. Образование кристобалита нежелательно из-за склонности его к модификационным превращениям во время охлаждения изделий, вызывающим внутренние напряжения в материале изделий и повышенное водопоглощение. Содержание муллита при заданных температурах обжига остается примерно постоянным (для фарфора, обожженного при 1350—1360° С, около 17—18%). Перекристаллизации муллита способствует наличие в полевошпатовом расплаве групп $AlO_6$, $AlO_4$ и $SiO_4$, являющихся зародышевыми элементами вторичного муллита, обладающего большой стабильностью.

Процессы образования структуры при участии жидкой фазы протекают в несколько стадий (рис. 85). Первоначально процесс спекания начинается со склеивания кристаллических частиц незначительным количеством расплава (рис. 85, *а*) в зоне непосредственного контакта зерен полевого шпата с частицами глины, каолина, кварца и за счет образования легкоплавких эвтектик. Далее с увеличением количества основного полевошпатового расплава им обволакиваются все зерна кристаллической фазы с одновременным взаимодействием расплава с каолинитовым остатком и зернами кварца (рис. 85, *б*). В завершающей стадии спекания при температуре выше 1250° С начинается диффузионный процесс растворения в полевошпатовом расплаве каолинитового остатка и кварца (рис. 85, *в*), необходимых для построения кристаллической решетки вторичного муллита.

В этих процессах решающее значение имеет перво-

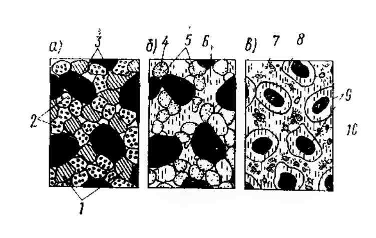



**Рис. 85. Схема процесса структурообразования черепка**

*а, б, в* — этапы спекания; *1* — каолинит; *2* — кварц; *3* — полевой шпат; *4* — аморфный кремнезем; *5* — первичный муллит в каолинитовом остатке; *6* — расплав полевого шпата; *7* — кремнезем и расплав полевого шпата в пределах каолинитового остатка; *8* — кайма оплавления кварца; *9* — остаточный кварц; *10* — муллит в пределах расплава полевого шпата

начальная вязкость расплава. Слишком вязкий расплав не способствует связыванию частиц твердой фазы, в то время как маловязкий расплав хорошо смачивает кристаллические частицы, но способствует деформации изделий. Чем больше расплав насыщается растворяющимися в нем кварцем и глиноземом, тем выше его вязкость и больше механическая прочность изделий. Щелочные оксиды снижают поверхностное натяжение расплава. Кремнезем действует двояко: в присутствии поверхностно-неактивных компонентов снижает поверхностное натяжение, а в присутствии $K_2O$, PbO, $P_2O_5$ и других и при увеличении в расплаве содержания $SiO_2$ увеличивает его. Глинозем всегда повышает поверхностное натяжение расплава. Малая вязкость и малое поверхностное натяжение расплава более благоприятно для спекания в процессе обжига. Важную роль в определении этих свойств расплава играет его строение. Введение минерализующих добавок ZnO, MgO, $TiO_2$, $CaF_2$ и других способствует не только увеличению количества жидкой фазы, но и изменяет строение расплава и повышает за этот счет его реакционную способность.

Кроме температурных условий на спекание и уплотнение черепка изделий влияет гранулометрический состав, форма частиц и характер их упаковки, количество жидкой фазы в период спекания. Характерной особенностью процесса спекания является то, что одновременное растворение твердой фазы и кристаллизация из расплава новообразований не прекращаются на протяжении всего периода спекания.

В результате обжига в черепке, например, фарфоровых изделий будут находиться стекловидная изотропная масса (полевошпатовое и кремнезем-полевошпатовое стекло), нерастворившиеся, но оплавленные зерна кварца со слоем метакристобалита на их поверхности, кристаллы муллита (первичный и игловидный вторичный).



Поры в черепке, главным образом, закрытые, округлой формы. Соотношение этих фаз определяет текстуру и физико-механические свойства изделий.

Формирование черепка изделия при обжиге достигается не только поддержанием оптимальной температуры и времени нагрева полуфабриката, но и химическим составом печной атмосферы. Состав атмосферы определяется избытком кислорода в печных газах, содержание которого колеблется до 1% в восстановительной, 1,5—2% в нейтральной, 2—5% в окислительной и более 10% в сильно окислительной среде. Взаимодействие между материалом изделий и атмосферой печи происходит в результате контакта твердой фазы с газами не только на поверхности, но и во внутренних слоях. По активности проникновения газов в черепок изделия при 1200° С их можно расположить в следующей последовательности:

$$H_2 > SO_2 > \text{воздух} > CO_2 .$$

Гидродинамический режим, характеризуемый изменением давления или разрежения печной атмосферы, зависящим от времени обжига, является средством для достижения оптимального температурного и газового режимов обжига изделий.

Процесс спекания сопровождается изменением усадки, механической прочности, пористости и других свойств. Важнейшее влияние на физико-механические свойства изделий оказывает их плотность. Известно, что, например, пористость черепка фарфорового изделия перед спеканием составляет 35—40% объема, после спекания — 3—5% закрытых пор и 1—5% «открытых в шлифе» пор. Размер пор 0,01—0,03 мм и меньше. Снижение пористости, отрицательно влияющей на физико-механические свойства изделий, имеющих плотный, спекшийся черепок, достигается как за счет заполнения пор полевошпатовым расплавом, так и за счет стягивания частиц кристаллической фазы силами поверхностного натяжения расплава на границе раздела фаз. Уплотнению черепка при недостаточном количестве жидкой фазы также способствует рекристаллизация из жидкой фазы вторичного муллита. На скорость протекания процесса усадки оказывает влияние не только печная атмосфера, но и вязкость расплава и его поверхностное натяжение. Переход к обжигу в восстановительной сре-

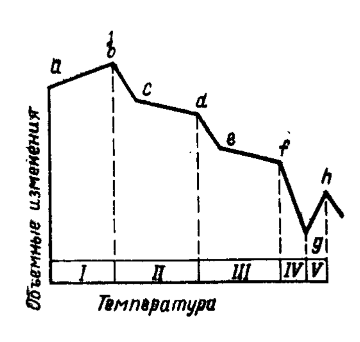



**Рис. 86. Периоды объемных изменений керамической массы при обжиге (по Х. О. Геворкяну)**

де сопровождается снижением температуры, увеличением интервала спекания, плотности черепка и его усадки.

На кривой изменения объемов в зависимости от температуры наблюдаются пять периодов (рис. 86). В I периоде (20—250°С) в керамической массе не происходит существенных изменений за исключением удаления гигроскопической влаги. Наблюдается термическое расширение изделия. Во II периоде (520—980°С) объем образца значительно уменьшается, особенно это заметно на участке *bc* (520—610° С), где происходит удаление химически связанной влаги, фиксируемое на дифференциальной кривой термограммы эндотермическим эффектом.

Интенсивная усадка на участке *de* III периода (980—1150° С) соответствует первому экзотермическому эффекту и изменениям, протекающим в каолинитовом остатке. В IV периоде (1150—1330° С) объем образца наиболее уменьшается вследствие плавления полевого шпата и интенсивного жидкостного спекания. В последнем V периоде (свыше 1330° С) возможно (при пережоге) увеличение объема в виду начавшегося повышения пористости (участок *gh*) и модификационных изменений кварца, если его содержание в массе было первоначально около 40%.

При достижении спекаемым материалом 85% относительной плотности его поры остаются полностью открытыми, а затем сначала медленно, а потом все быстрее поры закрываются. При 95% относительной плотности все поры будут закрыты.

При скоростном обжиге скорость нагрева изделий возрастает в 15—20 раз. Наибольшая усадка массы смещается на 80—100° С в область более высоких температур, а ее абсолютная величина уменьшается на 0,8—0,9%, снижается вязкость расплава вследствие меньшего насыщения его $Al_2O_3$, $SiO_2$ и другими тугоплавкими компонентами, увеличивается разница в кинетике усадки внешних и внутренних слоев изделий. Прочность черепка изделий при обжиге нарастает постепенно до конечной температуры обжига.



На формирование структуры и свойств изделий оказывает большое влияние выдержка (0,5—3,5 ч) при максимальной температуре обжига. Простая конфигурация изделий позволяет производить обжиг в более форсированном режиме, без выдержки в периоды дегидратации и полиморфных превращений кремнезема.

Обжиг изделий при оптимальной температуре (на 20—30° С выше температуры максимального уплотнения черепка изделия) обеспечивает их наилучшие физико-технические свойства. С повышением температуры обжига выше оптимальной для данного состава массы все физико-технические свойства изделий ухудшаются. Они ухудшаются и при недожоге. Прочность при изгибе недожженных изделий в 8—15 раз, а модуль упругости в 5—11 раз ниже, чем у изделий, обожженных при оптимальной температуре. Снижение температуры обжига изделий на 100° С за счет действия плавней при прочих равных условиях способствует снижению удельного расхода топлива на 11—13%.

## 3. Обжиг

Изделия тонкой керамики хозяйственно-бытового назначения обычно обжигают двукратно. В производстве фарфора по обычной технологии первый (утельный) обжиг неглазурованных изделий осуществляют при 900—1000° С для предварительной дегидратации глинистых минералов, разложения карбонатов, сульфидов, сульфатов и других примесей, имеющихся в сырье, придания полуфабрикату необходимой пористости — по водопоглощению 18—22%, повышения предела прочности при сжатии до 12—13 МПа, обеспечивающей его сохранность при последующих технологических операциях и устойчивость против размывания при глазуровании. Второй обжиг (политой) при 1350—1410°С предназначен для окончания процессов, начатых при первом обжиге по формированию структуры черепка изделий, закрепления глазури и подглазурного декора.

В технологии полуфарфоровых изделий по схеме для производства фаянса первый обжиг при 1250—1280° С является основным, формирующим черепок из-

делия, второй при 980—1050° С служит для закрепления глазури.

В производстве фаянсовых изделий первый обжиг при 1180—1280° С является основным, а второй обжиг при температурах 1020—1050° С производится для закрепления глазури и подглазурного декора.

Изделия из мягкого фарфора обжигают первый раз при 1100—1200° С, а глазурь закрепляют при 980—1160° С.

Майоликовые изделия из фаянсовой массы обжигают дважды: первый обжиг в интервале температур от 1060—1080° С до 1230—1280° С, второй — при 1020—1060° С. Изделия из легкоплавких местных глин с окрашенным черепком — однократно при 900—1060° С и реже двукратно при 1000—1050° С и 900—1040° С.

Толстостенные изделия: санитарно-строительные, электротехнические, химически стойкие, скульптуру из мягкого фарфора и другие — обжигают однократно.

Обжиг изделий связан с необходимостью выполнения многих вспомогательных операций: подготовка огнеупорного припаса (обдувка, очистка, промазка капселей и этажерок), спаривание тонкостенных изделий (чашки, блюдца), обжигаемых в склеенном виде, загрузка изделий в капсели или на этажерки вагонеток, установка капселей на вагонетки, выборка изделий после обжига из капселей и этажерок, сортировка изделий и др.

Освоение однократного обжига изделий, внедрение скоростного бескапсельного обжига, расширение подглазурного декорирования и сокращение объемов обжига декорированных изделий или полное его исключение приводит к значительному сокращению технологических операций, связанных с обжигом (рис. 87).

Способ установки (заборки или садки) изделий в капсели или на этажерки вагонеток при комбинированном или бескапсельном обжиге, а также установки капселей на печные вагонетки оказывает значительное влияние не только на качество изделий, но и на экономику обжига. Для лучшего использования печного объема широко практикуется комбинированная садка изделий разной величины «одно в одно» или установка мелких изделий под крупными.

Коэффициент заполнения печного объема туннельных печей 0,45—0,5. При комбинированной загрузке вагоне-



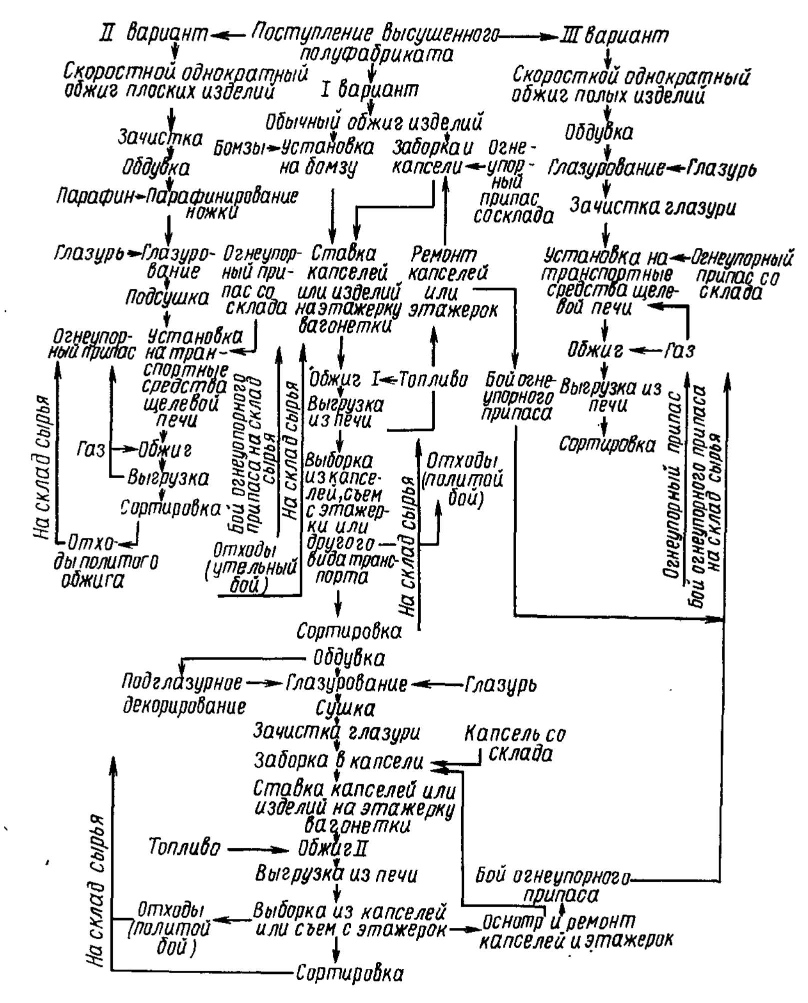



**Рис. 87. Схема технологических операций обжига изделий**

ток, когда полые изделия устанавливают в центре вагонетки на этажерках, а плоские в капселях по краям вагонетки, этот коэффициент равен 0,62—0,65. Коэффициент заполнения печного объема при утельном обжиге фаянса равен 0,7—0,9.

Система установки изделий играет решающую роль в развитии как процессов теплообмена между изделиями и теплоносителем, так и характера тепло- и массо-

обмена в черепке изделия. Основное требование, предъявляемое к ней, заключается в том, что для всех изделий должны быть созданы совершенно одинаковые условия внешнего и внутреннего теплообмена. Одинаковая по форме и массе загрузка каждой вагонетки способствует лучшему использованию печного объема и лучшему режиму обжига. При этом достигается лучшее распределение температуры и газовой среды по сечению печи. Выбирая систему установки изделий на печные вагонетки, необходимо учитывать конструкцию и размеры обжигового канала печи, вид обжигаемых изделий, применяемое топливо, метод его сжигания, конструкцию газогорелочных устройств, характер перемещения вагонеток в печи, аэродинамический режим работы печи, равномерность обжига и главное — интенсивность теплообмена.

**Режимы обжига.** В зависимости от типа печей, вида обжигаемых изделий и назначения обжига руководствуются различными режимами обжига, кривые которых приведены на рис. 88. Скорость нагрева в туннельных печах находится в пределах 80—90° С в 1 ч, в печах щелевого типа она увеличивается в 10—12 раз. Выдержка при максимальной температуре при обычных условиях обжига составляет 1—1,5 ч, при скоростном обжиге 10—15 мин. Эффективность выдержки тем больше, чем выше ее температура.

Температурные кривые утельного обжига имеют участки замедленного подъема температуры в начальный период подогрева при дегидратации каолинита и модификационных превращениях кремнезема. Горизонтальный участок кривых характеризует длительность выдержки при конечной температуре обжига изделий. Весь период подъема температуры до 900°С протекает относительно быстро, так же как и охлаждение до температуры 900—800°С. На участках модификационных превращений $\alpha$-кварца в $\beta$-кварц охлаждение замедляется вплоть до достижения конечной температуры обожженных изделий (40—50° С).

Интенсификация процессов обжига зависит от термической нагрузки изготовляемых изделий и конструкции тепловых агрегатов. Под термической нагрузкой понимают влияние комплекса факторов — времени, температуры, материала и формы — на свойства обжигаемых изделий. При скоростном обжиге необходимо рас-



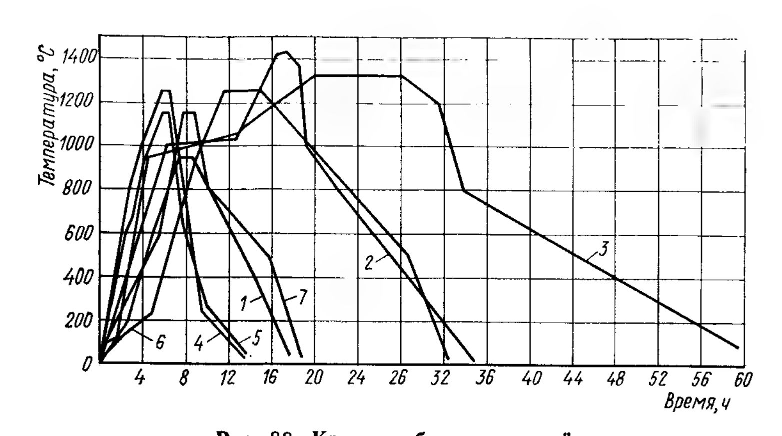



**Рис. 88. Кривые обжига изделий**

*1, 2* — первый и второй обжиг хозяйственного фарфора в туннельной печи; *3* — второй обжиг фарфора в горне; *4, 5* — первый и второй обжиг костяного фарфора; *6, 7* — первый и второй обжиг фаянсовых изделий в туннельной печи

ширить границы термической нагрузки масс и глазурей, обеспечивая получение изделий с заданными свойствами.

Различают обжиг ускоренный и скоростной. Ускоренный обжиг возможен в туннельных печах при сокращении длительности обжига по сравнению с ранее достигнутой. Скоростной обжиг возможен только тогда, когда достигается наилучшее сочетание факторов термической нагрузки с условиями обжига — типом печи, свойствами огнеупорного припаса. Границы рентабельности скоростного обжига определяются затратами на специальное сырье, подготовку масс и глазурей, специальный огнеупорный припас, стоимостью тепловых агрегатов с учетом работы их в автоматизированном режиме. Эти затраты должны перекрываться высокой эффективностью скоростного обжига за счет снижения количества производственных операций и трудовых затрат при обжиге, увеличения выхода продукции высших сортов, снижения стоимости обжига, повышения съема продукции с производственной площади печных цехов, возможности автоматизации производственных процессов.

Сокращение длительности утельного и политого обжига возможно в туннельных печах несмотря на все их конструктивные недостатки. В туннельных печах длительность обжига определяется не свойствами обжигаемых

9* Зак. 334

изделий, а конструктивными особенностями печей и допустимой скоростью нагрева огнеупорного припаса.

**Первому утельному обжигу** подвергают изделия, установленные в капселях или на этажерках туннельных печей, на специальных подставках (плитах) или непосредственно на транспортирующих устройствах щелевых печей.

К загрузке в печь не допускаются изделия, имеющие повышенную влажность, щербины, трещины, плохо оправленную поверхность, неправильно приставленные детали и другие дефекты, а также деформированные и некомплектные изделия.

Плоские изделия загружают в капсели ровными стопками на специальные огнеупорные подставки. Для обжига глубоких и мелких тарелок диаметром 200 мм и более лучше использовать капсели с вырезным дном. При бескапсельном обжиге тарелки устанавливают на этажерку вагонетки стопками на подставки. В стопке должно быть 6 тарелок диаметром 240 мм, 8 — диаметром 200—175 мм, 10—12 блюдец.

Полые тонкостенные изделия устанавливают в спаренном виде. Крупные толстостенные изделия (кружки, чайники, кувшины и др.) обжигают на ножке.

Первый обжиг осуществляют в печах непрерывного действия, туннельных или щелевых (конвейерных с сетчатым подом, рольганговых, с подвесными люльками). Температура обжига в туннельных печах 900—1000° С, в щелевых печах 780—850° С. Окислительная печная среда (коэффициент избытка воздуха 1,15—1,2) способствует более полному выгоранию органических примесей, удалению продуктов диссоциации карбонатов и разложению сульфидов и сульфатов, выгоранию сажистого углерода, отлагающегося в порах черепка при 300—400° С.

Производительность конвейерных печей 10—15 тыс. изделий в сутки, расход условного топлива 0,09—0,16 кг на 1 кг изделий (1,3 кг на 1 кг изделий в туннельных печах), КПД печи 24—28% (КПД туннельной печи 8%, количество обслуживающего персонала сокращается в 4 раза, съем изделий с 1 м$^2$ площади печи возрастает в 4—6 раз, а себестоимость обжига 1 тыс. изделий снижается в 3,5—4 раза).

При разработке скоростных режимов утельного обжига основными определяющими факторами являются



время, необходимое для протекания физико-химических процессов, возможность быстрого подъема температуры в печи с обеспечением образования равномерного температурного поля по всему объему печи и достижения заданных температур не только на поверхности, но и в глубинных слоях изделий, исключение возможности возникновения временных температурных напряжений, способных вызывать разрушение изделий при быстром нагреве или охлаждении, получение механически прочных и водоустойчивых изделий, годных для глазурования и дальнейшей обработки.

Сортировку обожженных изделий производят путем визуального осмотра, «перезвонки» и фуксинового контроля для выявления скрытых трещин.

По степени обжига изделия разделяют на три группы: *нормально обожженные* — равномерного бледно-розового цвета, водопоглощение 18—22%, отклонения по водопоглощению не более 1%; *слабо обожженные* — темно-розового цвета, иногда с серым оттенком, водопоглощение более 22%; *сильно обожженные* (пережженные) — кремового или почти белого цвета, водопоглощение менее 18%. Предел прочности при изгибе нормально обожженных изделий 6—14 МПа.

**Второй (политой) обжиг** для фарфоровых изделий является основным. Он обеспечивает протекание процессов, формирующих черепок изделий, способствует розливу и закреплению глазури и подглазурного декора. В технологии фаянсовых изделий и фарфоровых изделий по схеме производства фаянса второй обжиг закрепляет глазурный покров и подглазурный декор. После очистки изделий от пыли, промазки внутренней стороны, края и дна (снаружи) капселя составами, снижающими «засорку» и исключающими прилипание изделий при обжиге, их устанавливают в капсели или в предварительно промазанные этажерки вагонеток при бескапсельном обжиге изделий.

Второй обжиг, например фарфоровых изделий, характеризуется необходимостью использования восстановительной среды в интервале температур 1040—1280° С, хотя окислительная газовая среда наиболее экономичная по расходу топлива. Кроме того, она способствует получению бездефектного глазурного покрова с высоким блеском.

Для снятия внутренних напряжений при охлаждении

обожженных изделий медленно проходят температурные участки перехода стеклофазы и глазури из термопластического состояния в упругое. Температуры отвердевания жидкой фазы и глазури близки и зависят от их состава. Для стеклофазы твердого фарфора, насыщенной глиноземом и кремнеземом, температура перехода 800—750°С, для глазури — 700—670°С, мягкого фарфора — 650—600° С, для глазури 570—530° С.

Период до начала отвердевания жидкой фазы (1350—1000° С) рекомендуется проходить быстро, поддерживая в печи нейтральную газовую среду. На участке полиморфных превращений кварца надо несколько замедлить охлаждение изделий до скорости 50—80° С/ч. Далее охлаждение ведут со скоростью 80—120°С/ч.

Нормированное охлаждение изделий способствует мелкозернистой кристаллизации вторичного муллита, повышению белизны и просвечиваемости изделий, улучшению текстуры черепка.

*Бескапсельный обжиг* все шире внедряется в промышленность, так как изменившаяся структура тепловых агрегатов (около 70% изделий обжигаются еще в туннельных печах) и топливного баланса создала для этого необходимые условия. Создание печей щелевого типа и использование газообразного топлива позволяют частично отказаться от применения капселей и снизить расход огнеупоров на устройство этажерок, так как их употребление удлиняет обжиг, приводит к увеличению расхода топлива, плохому распределению теплоты в печи и к образованию дефектов глазурного покрова.

При обжиге изделий на этажерках в туннельных печах по сравнению с обжигом таких же изделий в капселях масса фарфоровых изделий увеличивается на 33%, расход огнеупорного припаса снижается более чем вдвое, а удельный расход топлива — на 28—30%, производительность печи повышается на 35—40%.

Однократному обжигу в настоящее время подвергают изделия хозяйственно-бытового назначения следующего ассортимента: толстостенные блюда, селедочницы, масленки, пиалы, чашки, салатники, вазы, скульптуры и другие изделия из фарфоровых масс; тарелки, кружки и другие изделия из полуфарфоровых и низкоспекающихся масс, предназначенные для предприятий общественного питания.

При однократном обжиге изделий продолжительность выдержки в окислительной среде увеличивается на 20—30% для обеспечения более полного протекания процессов дегидратации, выгорания органических примесей и т. д.



**Печи,** используемые для обжига тонкокерамических изделий, различаются по принципу работы, эксплуатационному режиму, способам теплообмена и отопления, конструктивным особенностям.

*Печи периодического действия* (горны) работают циклично: загрузка — обжиг — выгрузка. Конструктивно эти печи бывают одно- и двухкамерными, обычно круглой формы. По направлению движения топочных газов различают печи периодического действия с восходящим (прямым) и нисходящим (обратным) пламенем. Для обжига фарфоровых и фаянсовых изделий еще и в настоящее время на некоторых заводах используют двухэтажные круглые горны с обратным направлением топочных газов. Печи периодического действия имеют существенные недостатки: малую производительность, тяжелые условия загрузки и выгрузки изделий, трудности механизации и автоматизации их работы. Их преимущество — возможность проведения каждого цикла по индивидуальному режиму (температурному, аэродинамическому и газовому). Печи периодического действия повсеместно заменяют на печи непрерывного действия.

*Туннельные печи* являются печами непрерывного действия. В них все стадии обжига — загрузка, обжиг, выгрузка — осуществляются одновременно и непрерывно. По форме рабочего туннеля печи бывают с прямолинейным и реже кольцевым каналом, щелевые одно- и многоканальные. По способу перемещения обжигаемых изделий печи непрерывного действия делят на вагонеточные, ленточные с цепным или сетчатым конвейером, роликовые, со скользящими подкладками (плитотолкательные), с шагающим или вращающимся (для кольцевого канала) подом, а также печи с перемещением обжигаемых изделий на воздушной подушке.

По способу нагрева различают печи прямого огня (открытого пламени), муфельные и полумуфельные. В печах открытого пламени продукты сгорания топлива омывают обжигаемые изделия, нагревают их непосредственно за счет конвективного теплообмена и в незначительной мере за счет излучения. При таком способе теплообмена не исключена возможность засорения

изделий несгоревшими частицами топлива и золой. Поэтому приходится обжигать изделия в капселях, особенно в печах, работающих на жидком топливе. К печам открытого пламени относятся все печи периодического действия, часть туннельных и щелевых печей.

В муфельных печах (обычных и щелевых) нагрев изделий осуществляется через экранирующие стены, отделяющие полости (каналы) печи, по которым движутся продукты сгорания топлива. Теплообмен осуществляется в основном за счет излучения стенок муфеля. Муфельные печи менее выгодны экономически из-за большого расхода топлива, они более сложны в эксплуатации, но в них обеспечивается более высокое качество обжигаемых изделий.

По направлению движения продуктов сгорания топлива туннельные печи являются противоточными. В начале рабочего канала печи (зона подогрева) навстречу обжигаемым изделиям движутся топочные газы из зоны обжига, а в зоне охлаждения — холодный воздух. Схема движения газов в туннельной печи приведена на рис. 89.

По способу отопления различают печи с пламенным и электрическим обогревом. В фарфорово-фаянсовой промышленности наиболее распространены пламенные печи на газовом и жидком топливе. За последние годы появились печи с радиационным нагревом — печи со стенками или сводом, излучающими теплоту. Стены печей выполняют из отдельных излучающих панелей. Каждая такая панель состоит из пористых кирпичей, через которые нагнетается газо-воздушная смесь. Сначала смесь проходит по каналам, просверленным на глубину, равную примерно $^3/_4$ толщины стенки, а затем равномерно распределяется по поверхности стенки через поры. Смесь горит практически невидимым пламенем. Тепловая энергия, выделяемая 1 м$^2$ поверхности стенки, составляет 1,4 ГДж в 1 ч, причем $^2/_3$ этой энергии передается за счет радиации. Сама излучающая панель нагревается до 1300° С за 1—2 мин.

Для обжига фарфоровых и фаянсовых изделий в основном используют одноканальные пламенные туннельные печи прямого нагрева и реже муфельные. Размеры рабочего туннеля печей колеблются в широких пределах: длина 60—120 м, ширина 1—1,85 м, высота от пода вагонетки до замка свода 1—1,93 м.



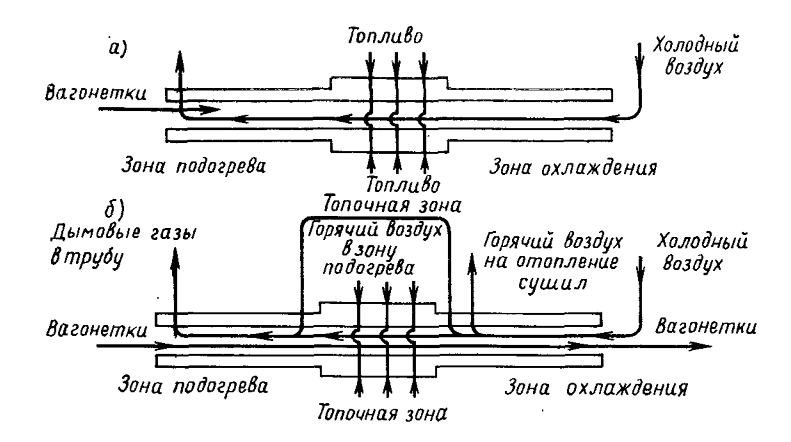



**Рис. 89. Схема движения газов в туннельной печи**

*а* — с использованием горячего воздуха с зоны охлаждения на сжигание топлива; *б* — с отбором горячего воздуха на сушку и частичным использованием на сжигание топлива

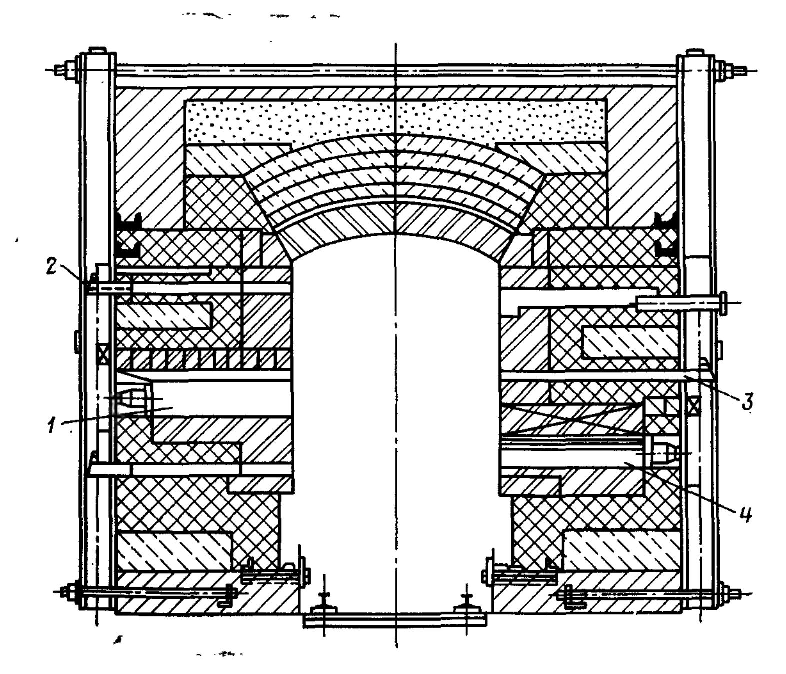
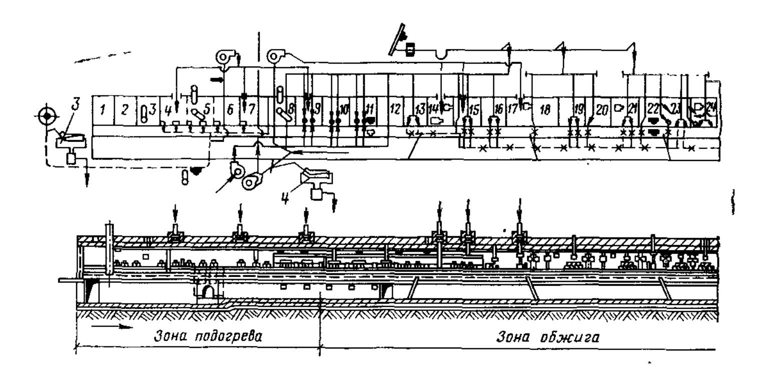



**Рис. 90. Поперечный разрез туннельной печи**

*1* — межсадочные топки; *2, 3* — смотровые окна; *4* — щелевые топки



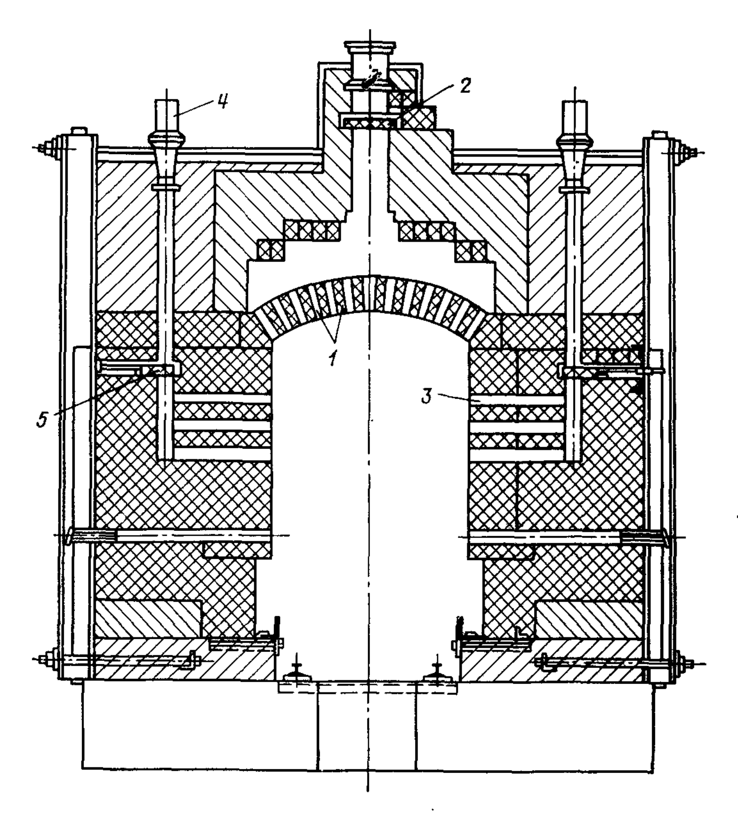



**Рис. 92. Устройство воздушных завес**

*1* — сводовые щели; *2* — шибер зазора воздуха с зоны охлаждения; *3* — окна боковой подачи воздуха; *4* — воздуховод; *5* — шибер подачи горячего воздуха



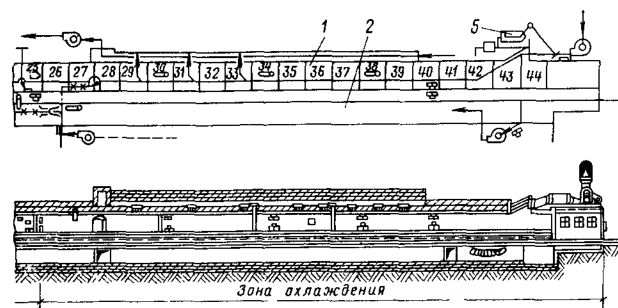



**Рис. 91. Продольный разрез туннельной печи**

*1* — канал печи; *2* — подпечный коридор; *3* — регулятор тяги; *4* — регулятор разрежения в зоне обжига; *5* — регулятор разрежения в зоне охлаждения

В конструкцию канала печи входят (кроме стен и свода) металлический каркас, лабиринтовые стыки стен и вагонеток с песочными затворами и песочницами, пескоуловители, смотровые и аварийные окна, топки, двери с торцов канала печи, камеры с шлюзовыми затворами, смотровые подвагонеточные подвалы (подподовый канал) и другие элементы (рис. 90).

По обеим сторонам печного канала располагается от 6 до 72 топочных устройств щелевого или межсадочного типов (рис. 91). Они могут находиться как в нижней части канала, так и под сводом. Из щелевых топок горячие газы направляются в развитый под печных вагонеток, из межсадочных топок — в пространство между вагонетками. Через определенные промежутки времени вагонетки передвигаются механическими или гидравлическими толкателями на длину одной вагонетки. Непрерывная подача вагонеток повышает производительность печи на 10—12%, улучшает качество обжига и снижает отходы при обжиге. При непрерывном передвижении вагонеток устройство межсадочных топок исключается.

Печной канал условно разделяется на зоны подогрева, обжига, охлаждения и на позиции. Длина одной позиции обычно равна длине вагонетки. В печи длиной рабочего канала на *44* позиции зона подогрева занимает *9* позиций (20%), обжига — *16* позиций (37%), охлаждения — *19* позиций (43%). В туннельных печах для обжига хозяйственного фарфора соотношение длин зон подогрева обжига и охлаждения равно соответственно (0,67—0,87) : 1 : (1,45—1,67).

Зона подогрева заканчивается около топочных устройств. Она имеет воздушные завесы (рис. 92) и кана-

лы для отбора отходящих газов и подачи горячего воздуха в зоны охлаждения. Отбор отходящих газов осуществляется сосредоточенно через одно окно с каждой стороны печи или рассредоточенно через систему окон и каналов с каждой стороны печи. У печей для обжига фаянса соотношение зон подогрева и большого огня составляет от 3 : 1 до 3,5 : 1. Длина зоны большого огня печей для обжига фаянса составляет всего 9—12 м, а печей для обжига фарфора 16—39 м.

Зона обжига ограничивается участком, в пределах которого располагаются горелочно-топочные устройства. В начале зоны, со стороны подогрева имеются воздушные завесы, способствующие дожиганию продуктов сгорания, поступающих с участка восстановления (в печах для обжига фарфора), и перемешиванию топочных газов.

Зона охлаждения наибольшая и составляет 40—55% общей длины печи для обжига фарфора и до 60% печи для обжига фаянса. Она начинается от зоны обжига и простирается до конца печи. При обжиге фарфоровых изделий суммарная длина зон подогрева и обжига должна быть не меньше длины зоны охлаждения. В зоне охлаждения имеются окна для отбора части горячего воздуха на сушку и к воздушным завесам печи. Эти завесы разделяют зоны с окислительной и восстановительной средами и начало зоны охлаждения. В конце зоны, у выгрузочного конца в печь вентилятором через специальные каналы подается атмосферный воздух для охлаждения вагонеток и обожженных изделий.

В каждой зоне поддерживается необходимая печная атмосфера: при обжиге фарфора в зоне подогрева и охлаждения — окислительная; в начале зоны обжига — восстановительная; в конце ее — слабо восстановительная, или нейтральная; при обжиге фаянса и майолики во всех зонах — окислительная газовая среда. Качественное различие газовой среды в каждой зоне достигается регулированием подачи топлива и воздуха для его сжигания.

Туннельные печи просты по устройству и имеют высокую производительность. К их недостаткам относятся большие (300—400° С) перепады температур по сечению печи в начале зоны подогрева, трудность механизации и автоматизации многоярусной установки изделий на этажерки вагонеток, низкий КПД.



*Печи для скоростного утельного обжига* бывают двух типов: муфельные, в которых используются жидкое топливо и прямой нагрев, и безмуфельные, работающие на природном газе при максимальной температуре обжига 800—850° С.

Муфельная конвейерная печь (рис. 93), работающая на жидком топливе, сложена из огнеупорного и теплоизоляционного кирпича, с удлиненной зоной высоких температур за счет устройства восьми горелок. Свод канала печи — арочный. Подогрев изделий осуществляется при помощи нижнего и верхнего газоходов, устроенных по всей ширине рабочего канала печи и огражденных от него карбидокремниевыми плитами. Вверху, ниже основного свода устроен второй свод из таких же плит, образующий по длине зоны подогрева верхний газоход высотой 0,14 м. Зона обжига аналогична по конструкции зоне подогрева с той разницей, что толщина стен, свода и пода увеличена. В зоне охлаждения второй

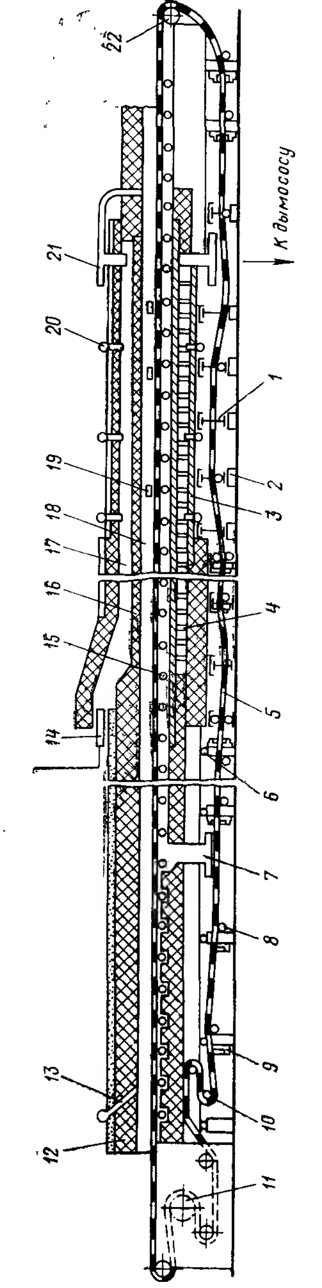



**Рис. 93. Схема конвейерной муфельной печи**

1 — металлический каркас; 2 — железобетонная опора; 3 — нижний газоход; 4 — шамотный столбик; 5 — металлическая лента; 6 — опора качания; 7 — опора прямоугольного сечения; 8, 15 — поддерживающие ролики; 9 — направляющие ролики; 10 — натяжная станция; 11 — приводная станция; 12 — подъемный шибер; 13 — наклонное отверстие; 14 — форсунка; 16 — карборундовая плита; 17 — верхний газоход; 18 — рабочий канал; 19 — окна отбора паров влаги; 20 — золотник; 21 — коробка отбора; 22 — поворотный ролик

свод (муфель) отсутствует. Для уменьшения подсоса воздуха в рабочий канал печи в начале зоны подогрева и в зоне охлаждения (в закрытой части) предусмотрены два подъемных шибера.

Подача изделий в печь для обжига производится на сетчатой конвейерной ленте (открытом участке зоны подогрева) из жаропрочной стали, которая приводится в движение приводной станцией с электродвигателем мощностью 0,6 кВт. Лента движется по роликам, установленным по всей длине печи на расстоянии 0,45—0,5 м друг от друга. Для роликов зон подогрева и охлаждения применяется сталь марки Ст. 3, а для остальных — сталь марки Х23Н13. Скорость движения конвейерной ленты может меняться от 0,021 до 0,4 м в 1 мин, что позволяет регулировать продолжительность обжига в печи от 40 мин до 14 ч. Срок службы сетки конвейера до 1,5 лет.

Жидкое топливо (мазут) сжигается при помощи восьми форсунок низкого давления, расположенных в конце верхнего и нижнего газоходов (по четыре в каждом). Воздух, необходимый для горения мазута, поступает по воздухопроводу от компрессорной станции. Удаление паров влаги из рабочего канала печи производится через специальные окна. Нагретый воздух в зоне охлаждения выпускается через прямоугольное отверстие в поде печи на расстоянии 4,25 м от конца закрытой части зоны охлаждения. Для предотвращения обратных воздушных потоков из зоны обжига в зону охлаждения предусмотрена воздушная завеса — подача теплого воздуха в конце зоны охлаждения через наклонное (45°) отверстие в своде печи. Отверстие при помощи воздуховода соединено с воздухопроводом, подающим воздух в сушилку. Отбор дымовых газов в зоне подогрева осуществляется сосредоточенным способом через проемы в нижних секциях и металлические дымоходы.

Печи прямого нагрева по сравнению с конвейерными печами других конструкций имеют много преимуществ: расход условного топлива снижен до 0,09 кг на 1 кг фарфора (т. е. в 2 раза меньше, чем в муфельных печах), конструкция печи упрощена за счет отсутствия второго свода. Этим достигается экономия до 3 т карбидокремниевого припаса. Высота печного канала снижена до 0,23 м за счет устройства прямого подвесного свода, что позволяет снизить перепады температур до



минимума, улучшить теплообмен печи, упростить монтаж печи и улучшить качество выпускаемой продукции. Возможно сокращение продолжительности обжига до 70—90 мин и увеличение длительности высокотемпературной выдержки. Однорядная установка изделий в печи позволяет автоматизировать процесс загрузки и выгрузки. Отсутствие перепадов температур и хороший теплообмен обеспечивают получение изделий одинаковой пористости. Значительно снижены отходы утельного обжига и созданы условия для полной автоматизации управления режимом обжига.

Природный газ сжигается при помощи шести инжекционных горелок с расходом газа 3,5—8 $м^3$ в 1 ч, установленных по обеим сторонам печи в конце зоны обжига в шамотных фасонных кирпичах с отверстиями для сжигания газа и наблюдения за его горением.

В ВНИИФ разработана конструкция вагонеточной малогабаритной скоростной автоматизированной печи (ПАС) для обжига чашек мощностью 8 млн. в год, работающей по принципу туннельной печи (рис. 94).

Печь выполнена в виде туннельной щелевой печи, ширина ее рабочего канала 0,392 м, высота от плиты до замка свода 0,24 м. Печь оборудована гидравлическим затвором с расходом воды до 40 л в 1 ч. В ней устроены 24 горелки, по 12 с каждой стороны. Общая длина печи 35,57 м.

Чашки в спаренном виде устанавливают на вагонетку у загрузочного конца печи в один ряд на карбидокремниевые плиты, уложенные на специальные стойки. Вагонетки в печи перемещаются толкателем.

Обожженные изделия выгружаются вручную у выгрузочного конца печи. Освободившиеся вагонетки подъемником поднимаются на верх печи, затем по рельсовому пути движутся к загрузочному концу печи и опускаются гидроснижателем на позицию загрузки. Толкание вагонеток, работа затворов форкамер, подъем и передвижение вагонеток происходят синхронно и автоматически.

Топливом служит соляровое масло. При температуре обжига 1320—1350° С и продолжительности цикла 5—8 ч расход условного топлива составляет 0,58—0,6 кг на 1 кг фарфоровых изделий. Температурный и аэродинамический режимы в печи ПАС показаны на рис. 95.

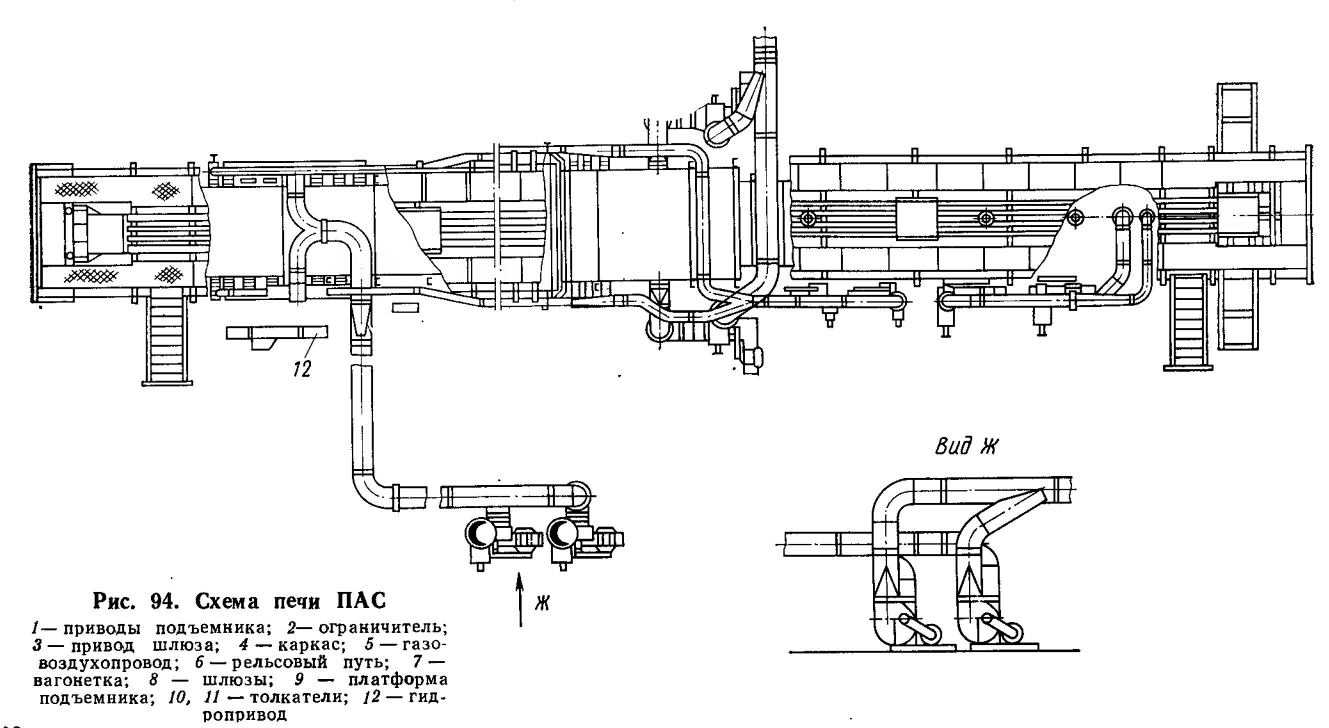



**Рис. 94. Схема печи ПАС**

*1* — приводы подъемника; *2* — ограничитель; *3* — привод шлюза; *4* — каркас; *5* — газовоздухопровод; *6* — рельсовый путь; *7* — вагонетка; *8* — шлюзы; *9* — платформа подъемника; *10, 11* — толкатели; *12* — гидропривод

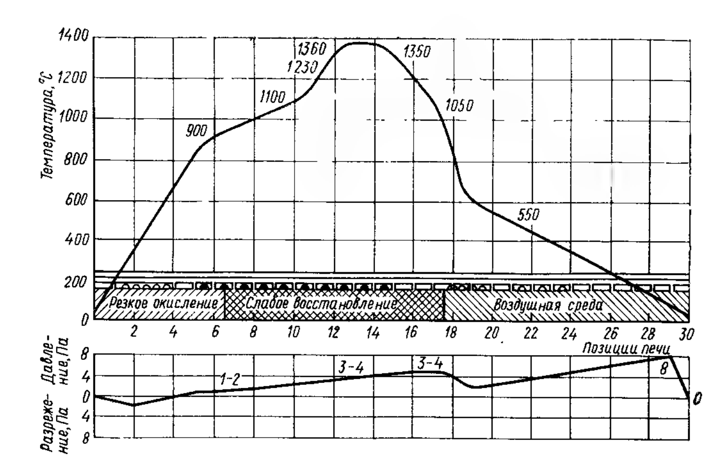



**Рис. 95. Кривые температурного и аэродинамического режимов обжига в печи ПАС**

Хорошо зарекомендовала себя в работе на некоторых заводах роликовая щелевая печь для первого обжига фарфоровых изделий. По сравнению с утельным обжигом изделий в туннельных печах в щелевой печи снижаются расходы условного топлива на 34—36%, огнеупорного припаса — в 10—11 раз, электроэнергии в 6—7 раз; продолжительность обжига составляет 5—7 ч (в туннельных печах 15—19 ч).

Выпускаемые фирмой «Сити» (Италия) автоматизированные многоканальные электрические и газовые печи с роликовым подом предназначены для обжига фаянсовых изделий, изделий из фарфоровых масс (первый обжиг), из масс низкоспекающихся типа «Витриес чайна», «Аристон», «Себринг» и других, обжигаемых однократно при температуре до 1200° С, а также для обжига декорированных изделий. Печи имеют различные размеры: длина их от 15 до 43 м, количество каналов от 1 до 24. Роликовая электрическая печь фирмы «Сити» общей длиной 43 м выполнена в виде семи секций, составляющих печной канал длиной 36,5 м. Внутри секции выложены огнеупорным припасом так, что образуются 12 каналов (4 яруса по 3 канала в каждом). Ширина каждого канала 370 мм, высота 115 м. В пазах горизонтальных разделительных плит уложены ролики с таким расчетом, чтобы они на 3—4 мм возвыша-





лись над поверхностью плиты для исключения завалов при перекосе и переломе поддона.

Для печей применяются два типа роликов: металлические и огнеупорные. Металлические ролики устанавливают на участках с температурой не выше 1050°С (в зонах подогрева и охлаждения). Огнеупорные ролики представляют собой трубы длиной 200, диаметром 50, толщиной стенки 5 мм.

Электронагреватели печи — металлические спирали из хромоферроалюминия. Срок службы электронагревателя около трех лет. Установленная мощность печи 450—500 кВт. Удельный расход электроэнергии на 1 кг изделий 0,6—0,7 кВт. Стоимость обжига в общей стоимости изделия снижается до 4—5% (при использовании туннельных печей 20—28%).

Газовые 12-канальные печи фирмы «Сити» имеют некоторые особенности в конструкции газогорелочных устройств, схемах автоматического регулирования и др. Загрузка и выгрузка поддонов с изделиями производится с обоих концов печи: в одном конце печи загружаются каналы первого и третьего ярусов, а выгружаются — второго и четвертого; в другом конце печи, наоборот, загружаются каналы второго и четвертого, а освобождаются — первого и третьего ярусов. При таком порядке загрузки и выгрузки обеспечивается лучшая подготовка к обжигу в зонах подогрева за счет использования теплоты остывающих изделий. Симметричность ветвей кривой обжига по длине печи в результате противоточного движения изделий упрощает регулирование работы печи и повышает ее экономичность. Экономичность также повышается вследствие использования в них принципа рекуперации теплоты при встречном движении обжигаемых изделий в соседних каналах. В многоканальных щелевых печах расход теплоты на обжиг изделий на 10—15% меньше, чем в одноканальных. Они просты по конструкции и удобны в эксплуатации, легко монтируются и ремонтируются, так как состоят из отдельных секций.

### *Вопросы для самопроверки*

1. **Каковы особенности обжига изделий из масс различного состава?**
2. **Характеристика технологических операций, связанных с обжигом изделий.**
3. **Режимы обжига изделий, их особенности.**

4. Отличительные особенности первого и второго обжига изделий.
5. Классификация печей для обжига изделий.
6. Особенности печей для скоростного утельного обжига изделий.

# ГЛАВА 11. ДЕКОРИРОВАНИЕ ИЗДЕЛИЙ

## 1. Материалы

Назначение декора — повысить эффект, производимый цветом материала и его формой, так как материал, форма и декор при правильном сочетании определяют эстетические качества изделий. Однако декор не должен «подавлять» ценные свойства окраски материала изделий, особенно белого цвета.

Эффект декорирования в наибольшей мере проявляется при умелом сочетании декора и формы изделия, так как декор тем лучше выполняет свою роль, чем больше он согласуется с формой. Это, однако, не значит, что он не имеет самостоятельной значимости.

Декорируют изделия керамическими красками, препаратами жидкого и порошкообразного золота, серебра, платины, деколью, люстрами, ангобами и цветными глазурями.

**Керамические краски** состоят из красящих пигментов, флюсов и различных вспомогательных компонентов, вводимых для повышения тона, лучшего закрепления на черепке изделий, регулирования реологических свойств красок.

*Пигменты* в своей основе состоят из оксидов металлов или их соединений — алюминатов шпинельного типа, гранатов, виллемитов, вольфрамов и других твердых растворов или химических соединений. Хромофорами, или носителями цвета в пигментах, являются естественно окрашенные оксиды B, Bi, Al, Fe, Co, Cd, Mn, Cu и др.

*Флюсы* — легкоплавкие свинцовые и щелочные бессвинцовые силикатные легкоплавкие стекла, придающие краскам блеск. Они должны быть хорошо проплавлены, однородны, не содержать кварцевых зерен и других включений. Гранула флюса должна иметь размер не более 8 мм, а тонкомолотый флюс должен иметь остаток на сите № 0056 (10 085 отв/см$^2$) не более 0,5%. Влагоемкость флюса не более 1%.



По назначению керамические краски разделяются на подглазурные и надглазурные. *Подглазурные* краски изготовляют из жаростойких минеральных пигментов с добавлением флюсующих материалов (полевой шпат, фритта или глазурь). Они подразделяются на краски для фарфора, обжигаемые при 1350—1410° С, и краски для фаянса, обжигаемые при 1050—1280° С. Высокотемпературные краски представлены ограниченной цветовой палитрой, в основном соединениями кобальта.

Приготовляют подглазурные краски путем смешивания и помола мокрым способом пигментов с глазурью в шаровой мельнице. К краскам добавляют глину, полевой шпат, декстрин, глицерин, сахар и другие компоненты для регулирования свойств краски, оттенка и температуры обжига. Готовую краску пропускают через сито № 0085 (4450 отв/см$^2$) и хранят в герметически закрывающемся сосуде. Краска для декорирования по высушенному черепку должна иметь влажность 38—40%.

К числу подглазурных красок относят также краски-растворы, полученные растворением в воде солей цветных металлов при нагревании. Содержание соли в растворе колеблется в широких пределах: никель азотнокислый (коричневый) — 600 г/л; кобальт сернокислый (темно-синий) — 800 г/л; хромпик (светло-зеленый) — 100 г/л; препарат золота (вишнево-красный) — 1,2%. Для увеличения клейкости в растворы добавляют декстрин, глицерин или сахар.

Наносят подглазурный декор на высушенные или обожженные на утель изделия. Подглазурные краски должны быть стойкими против действия высоких температур и глазури, а также восстановительной атмосферы при обжиге фарфора. Это ограничивает цветовую гамму подглазурных красок в основном оксидами и соединениями кобальта и реже хрома, марганца, железа, урана, никеля. В производстве фаянсовых изделий, обжигаемых при температуре ниже 1300° С, подглазурным декором украшают около 60% всех изделий.

Подглазурный декор долговечен, так как прикрыт глазурным покровом, и экономически выгоден, потому что исключается дополнительный обжиг для закрепления декора.

*Надглазурные краски* представляют собой смесь минеральных пигментов с легкоплавкими стеклами (флю-

сами). Пигменты изготовляют на основе оксидов и соединений Co, Cr, Fe, Mn, Al и др.

В зависимости от температуры обжига надглазурные краски делят на три группы, обжигаемые соответственно при температурах 775±15, 805±15, 815±10° С.

По кислотостойкости краски подразделяют на четыре группы. Краска, приготовленная из пигментов, флюсов и добавок, должна иметь остаток на сите № 0056 (10 085 отв/см²) не более 0,2%.

Готовят краски путем растирания компонентов с 6—7%-ным водным раствором декстрина или скипидара в фарфоровых барабанах или краскотерках (вальцах). Соотношение М : Ш : В равно 1 : 1,2 : 0,5. Влажность готовых красок 30—33%. Процессы приготовления и методы нанесения подглазурных и надглазурных красок в основном одинаковы. Надглазурные краски обладают более богатой цветовой гаммой и яркостью цвета, так как обжигаются при более низких температурах в окислительной газовой среде в муфельных или электрических печах. Надглазурный декор менее прочно закрепляется на поверхности глазурного покрова и быстрее разрушается в процессе эксплуатации.

*Люстры* — соединения и оксиды разных металлов, растворенных в эфирных маслах. Люстры придают изделиям металлический блеск, переливающийся всеми цветами радуги, поэтому дополнительного декорирования не требуется. Люстры бывают бесцветные, например висмутовые и цинковые; окрашенные, например урановые и хромовые; смешанные и металлические, содержащие золото, серебро и платину. В состав люстров входят металлические резинаты (смоляно-кислые соли), скипидар, нитробензол и другие компоненты. Температура обжига люстров 540—610° С.

*Препараты благородных металлов,* особенно золото, широко используются для декорирования. Из золота приготовляют препарат «жидкого» и порошкового золота. Препарат «жидкого» золота — раствор терпенсульфидов золота и родия, резинатов висмута и хрома в органических растворителях со смолами — содержит 0,02—0,03% родия, 0,035—0,06% оксида (III) хрома и 0,4—0,5% оксида (III) висмута и 10 или 12% золота. Препарат порошкового золота получают растворением металлического золота в царской водке с последующим восстановлением железным купоросом в виде порошка.



В качестве флюса используют азотно-кислый висмут, а разбавителем служит оксид ртути. Для получения желтоватого оттенка к препарату добавляют порошковое серебро. Препарат содержит 52, 62 и 72% металлического золота. В промышленности обычно используют препарат «жидкого» золота.

Все керамические краски поступают на производство в виде тонкодисперсных порошков. Перед использованием их тщательно перемешивают и растирают со связующим материалом — декстрином, глюкозой, глицерином и др.

*Деколь* — переводные картинки — изготовляют на гуммированной бумаге обычно полиграфическим способом с использованием керамических красок, литографических камней или металлических пластин на плоскопечатных или офсетных машинах. Листы деколи хранят при температуре 18—20°С в сухих помещениях не более 6 мес.

В последние годы освоено производство сдвижной деколи. Ее изготовляют методом литографской или шелкотрафаретной печати на гуммированной бумаге, которую до и после печатания рисунков покрывают полибутилметакрилатовым лаком (смесь ацетилена, синтетических смол и других компонентов). После высыхания слой лака образует прочную эластичную пленку, легко сдвигающуюся вместе с рисунком с бумажной подкладки при размачивании ее водой.

Исследования по дальнейшему совершенствованию деколи ведут в двух направлениях: разрабатывают оптимальные составы водорастворимых клеящих и защитных пленок главным образом для подглазурного декорирования и предварительной обработки поверхности изделий и составы термопластичных пленок, позволяющих избавиться от мокрого переноса рисунка (лепка́) на изделие, что значительно упростит процесс декорирования и создаст условия для его автоматизации. В ФРГ предложен новый тип деколи — накладной. На полностью сгораемую подложку наносят рисунок, а поверх него — скрепляющий слой. После увлажнения лепок наносят на изделие и обжигают. Ведут также работы по изготовлению деколи с использованием красок на термопластической связке.

*Цветные массы,* ангобы и глазури используют для изменения или скрытия природной окраски изделий.

Использование окрашенных масс менее выгодно, чем цветных ангобов и глазурей, из-за большого расхода дорогостоящих красителей. Декорирование глазурями бывает цветным, потечным, кристаллическим.

Цветные глазури обычно используют в производстве фаянсовых изделий. Их приготовляют путем предварительного сплавления цветных фритт с прозрачными глазурями. Компоненты глазури загружают в шаровую мельницу (соотношение Ш : М = 1 : 1), заливают воду из расчета влажности суспензии краски 57—58% и размалывают в течение 3—4 ч до остатка на сите № 0056 (10 858 отв/см²) не более 0,02—0,03%. Готовую суспензию сливают в сборник-мешалку, пропуская через сито № 01 (3906 отв/см²), и хранят при постоянном перемешивании до проверки на огневую пробу. Наносят глазурь обычными способами.

Потечные цветные глазури имеют более низкую температуру розлива, чем основная глазурь. При нагревании потечные глазури как более легкоплавкие образуют на поверхности основного глазурного покрова натеки.

Матовые глазури получают при расстекловывании основной глазури в процессе охлаждения изделий после политого обжига.

Кристаллические глазури выделяют на поверхности при медленном охлаждении кристаллы, придающие изделиям красивый вид.

**Вспомогательные материалы.** *Декстрин* в виде 4—6%-ного водного раствора повышает адгезионные свойства краски.

*Глицерин* используется как пластифицирующая добавка.

*Глюкоза* вводится в краску для улучшения ее реологических свойств.

*Гуммиарабик* используется как клеящее вещество.

*Скипидар* придает надглазурным краскам требуемую текучесть, кроме того он применяется для снятия уже нанесенной краски, исправления помарок, для мытья кистей, инструмента.

*Скипидарное масло* употребляется при растирании красок и для придания им большей вязкости.

При подглазурном декорировании в качестве связующих добавок используют глицерин или раствор декстрина, при надглазурном декорировании — скипидар и канифольно-скипидарную мастику (50—65% канифоли и 30—35% скипидара).



*Канифоль* служит растворимой добавкой к скипидару для повышения вязкости красок и приготовления мастик, необходимых при переводе деколи на изделия.

*Бальзамы* придают краскам жирность, вязкость, эластичность.

*Гвоздичное масло* способствует длительному сохранению свойств краски, легко размягчает сухой слой краски.

*Лавандовое масло* стабилизирует подвижность и эластичность краски.

*Анисовое масло* действует аналогично скипидару, но действие его сильнее.

*Бензол* и бензин используются (редко) в качестве растворителей краски.

Применяемые для приготовления мастик, лаков, связующих растворов в красках материалы должны выгорать при температуре 220—400° С, не обугливаясь и без остатка, так как углерод может способствовать восстановлению металла краски и ее разрушению.

*Вопросы для самопроверки*

1. **Назначение декора.**
2. **Особенности керамических красок для подглазурного и надглазурного декорирования изделий.**
3. **Керамические краски — растворы, люстры и препараты золота, их характеристика и назначение.**
4. **Декоративные глазури, их особенности и назначение.**
5. **Краткая характеристика вспомогательных материалов и их назначение.**

## 2. Нанесение декора

Способы декорирования фарфоровых, фаянсовых, тонкокаменных и майоликовых изделий многочисленны (рис. 96). Соотношение основных живописных разделок составляет, %: деколь 60, аэрограф 10, отводка (ленты) 15, штамп и печать 5, ручная роспись 10.

Декорированием изделий занято до 30% рабочих основного производства, а объем работ, выполняемых вручную, составляет 70—75%.

Различают рельефный и гладкий способы декорирования. **Рельефное** декорирование подразделяют на выпуклое и заглубленное. *Выпуклые* украшения поверх-

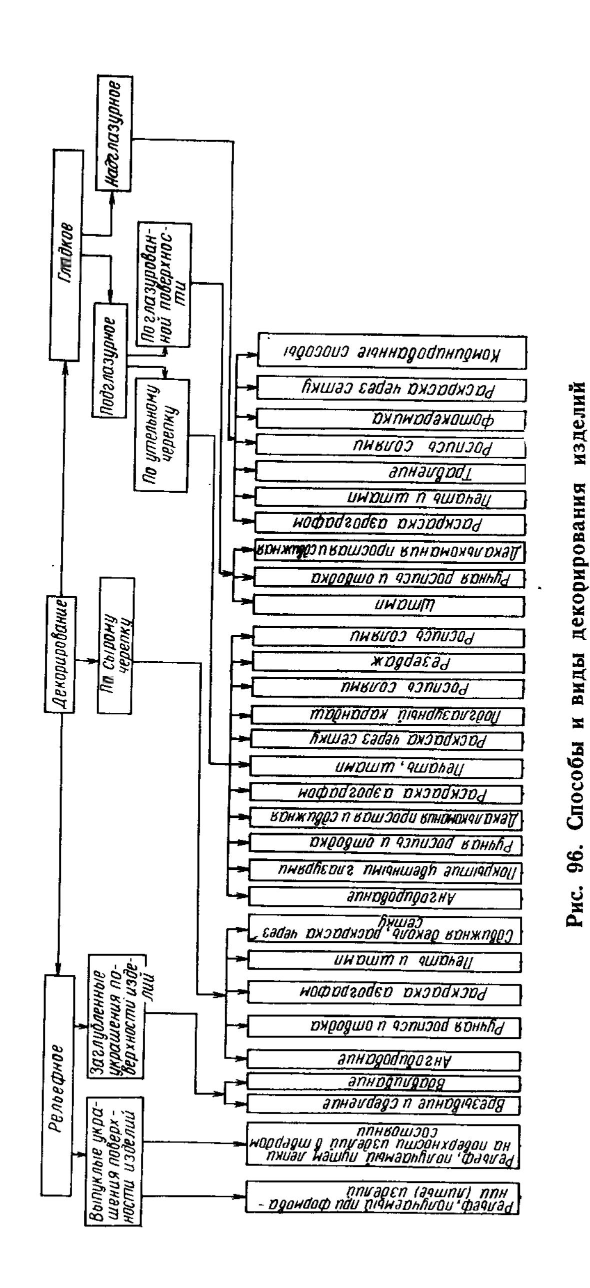



Рис. 96. Способы и виды декорирования изделий



ности изделий создают, отливая изделия в гипсовых формах с рельефным рисунком на поверхности. Декор наносят также путем лепки на поверхность изделий, находящихся в кожетвердом состоянии (подвяленном).

*Заглубленный* декор получают на поверхности изделий гравировкой проволочной петлей, процарапыванием подвяленного изделия или вдавливанием изображения (инкрустация). Вырезанные линии рисунка заполняют цветным ангобом или красками шпинельного типа, затем изделие сушат и покрывают прозрачной глазурью. Иногда рисунок (сграффито) процарапывают сквозь слой нанесенной еще сырой глазури до обнажения черепка или подглазурного ангоба, зачищают края линий и обжигают.

Рельефный декор обычно наносят на изделия художественно-бытового назначения (вазы, кружки и др.).

**Гладкий** декор — основной способ декорирования изделий. Существует много видов гладкого декора: ручная роспись и отводка, декорирование аэрографом, печать, полиграфические методы, шелкография, штамп, деколь и др.

*Ручная роспись* и отводка являются самостоятельными методами декорирования при нанесении высокохудожественных многоцветных рисунков или рисунков, многократно повторяемых, несложных рисунков массового характера, при комбинированном декорировании (роспись к трафаретным рисункам, отделка декалькоманией и др.).

Рисунок наносят по контуру или без него. Контуры рисунка переносят на поверхность изделий с наколотой кальки.

Нанесение рисунка дополняется полоской, называемой при ширине 1 мм — усиком, 1—3 мм — отводкой, 1—10 мм — лентой. Ее наносят для обрамления борта, приставных деталей, выступающих конструктивных элементов. Полоску на изделиях, имеющих форму тел вращения, выполняют на турнетках с ручным или электрическим приводом. Для нанесения отводки, лент или усиков, кроме кистей, используют различные приспособления. Толщина усика, отводки и ленты золотом составляет 0,05—0,1 мкм.

Декорирование вручную на поточной линии происходит в следующем порядке: нанесение ленты, рисунка, отводка. Примерная компоновка конвейерных линий

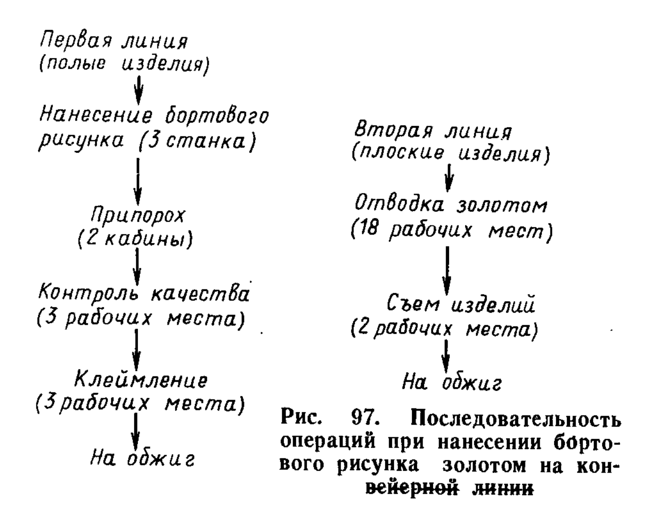



**Рис. 97. Последовательность операций при нанесении бортового рисунка золотом на конвейерной линии**

участка приведена на рис. 97. Скорость движения ленты конвейера 2—2,5 м/мин. Длина конвейера около 15 м. Ширина ленты конвейера 0,8—1 м. Общая производительность поточной линии 2500—3000 шт/ч. Линию обслуживает 39 чел. Установленная мощность 9,5 кВт.

Отводка выполняется также на различных станках и полуавтоматах. На заводах страны используются полуавтоматы TL-24 фирмы «Исимат» (ФРГ), предназначенные для нанесения на тарелки одновременно двух линий, различных по ширине и цвету. Отводка может выполняться как после первого обжига, так и по глазурованной поверхности. Производительность полуавтомата 1,2 тыс. тарелок диаметром свыше 190 мм и 1,5 тыс. диаметром до 190 мм в 1 ч. Расход воздуха при давлении 0,4 МПа равен 3 м³/ч, мощность электродвигателя 0,25 кВт.

Фирмой «Цейдлер» (ФРГ) разработан полуавтомат для отводки одновременно нескольких лент красками и золотом. В машинах фирм «Малкин» (Англия) и «Рикман» (Канада) для нанесения отводок используются ролики диаметром 31—254 мм. Производительность машин при нанесении отводки на чашки и блюдца 360—480, на тарелки диаметром 150—264 мм — 360—240 изделий в 1 ч. В машинах фирмы «Дегусса» (ФРГ) отводка наносится перьями и трубками специальной конструкции. В машине фирмы «Линомат» (ФРГ) рабочая головка снабжена несколькими перьями, что дает воз-



можность одновременно наносить несколько линий. Производительность машины 600 изделий в 1 ч.

*Декорирование аэрографом* (пульверизатором) используют при нанесении одноцветных и многоцветных рисунков, однотонного и теневого (восходящего и нисходящего) фона или сплошного покрытия лент и бортовых рисунков.

Трафареты изготовляют из тонкого (0,3 мм) листового материала — свинцовой и бронзовой фольги, станиоля, пластмасс и других материалов. Краска распыляется специальными пульверизаторами (пульфонами) при давлении воздуха 0,2—0,3 МПа. Диаметр сопла 0,4—0,6 мм. Рабочее место оборудуют в виде стеклянных кабин с вытяжкой и уловителями краски. Для нанесения рисунка трафарет плотно прижимают к поверхности изделия и аэрографом напыляют краску с расстояния 15—20 см. При нанесении на изделия многоцветных рисунков краски определенного цвета последовательно напыляются через соответствующие трафареты. В процессе работы трафареты периодически (после раскраски 10—15 изделий) промывают в воде или скипидаре. Краска должна быть хорошо растерта с сухим декстрином или 45—50%-ным водным его раствором и проходить без остатка через сито № 0112 (2630 отв/см²). При недостатке в краске связующего она легко стирается и осыпается при нанесении на поверхность изделия толстым слоем, при излишке связующего — закупоривает сопло распылителя. Аэрографное декорирование осуществляется как вручную, так и при помощи полуавтоматов. Производительность полуавтомата АСФ-13, созданного в ОМА-45 ЦПКТБ Минлегпрома РСФСР, составляет 450 изделий в 1 ч. Расход сжатого воздуха 0,1 м³/мин при давлении 0,2—0,3 МПа.

Аэрографное нанесение краски на изделие осуществляется обычно на двух параллельных поточных линиях для полых и плоских изделий с использованием ручных пистолетов-распылителей и полуавтоматов (рис. 98). Для поточных линий применяют ленточные конвейеры длиной 10—15 м, шириной ленты 0,8—1 м и скоростью ее движения 1,3—1,5 м/мин. Расположение двух конвейеров рядом позволяет организовать общую подачу сжатого воздуха давлением 0,4 МПа к аэрографам, а также общую вытяжку. Каждую линию обслуживает 8 рабочих. Производительность линии декорирования 1150 чашек и 1250—1500 блюдец в 1 ч.

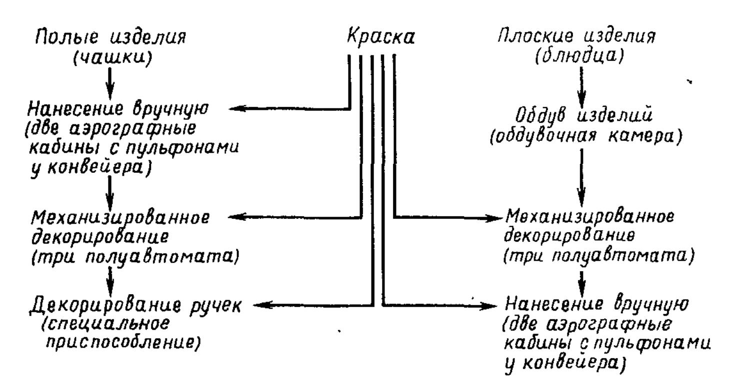



**Рис. 98. Последовательность операций при декорировании изделий аэрографом**

*Декорирование полиграфическими способами.* Все полиграфические способы декорирования разделяют на три группы: печать глубокая, печать высокая (типопечать) и печать плоская (литография). Наиболее широко для декорирования изделий используется глубокая печать.

При глубокой печати рисунок углублен ниже поверхности формы. Переносить рисунок с металлической гравюры непосредственно на керамические изделия невозможно. В таких случаях, а также для многоцветной печати широко применяют прием перевода рисунка при помощи посредников — резины, желатина (в виде мембран), грушевидных устройств, папиросной бумаги.

Декорирование изделий способом глубокой печати с использованием папиросной бумаги применяют при нанесении однотонного рисунка любой сложности как на утельное, так и на глазурованное изделие. Процесс декорирования происходит в два этапа: получение оттисков рисунка на бумаге и перенесение рисунка с бумаги на поверхность изделия. На протертую пластину (вал) с заглубленной формой рисунка, заполненной краской, накладывают влажный лист папиросной бумаги, покрывают его бумагой и войлоком и пропускают через прижимные вальцы. В результате изображение переходит на лист бумаги, который затем разрезают на отдельные лепки. Влажный оттиск накладывают на очищенную поверхность изделия, слегка прижимают влажной губкой и прокатывают войлочным валиком. После нанесения рисунка изделие подсушивают и направляют на



обжиг или дополнительную раскраску вручную отпечатанного контура рисунка, на отводку и т. д.

При подглазурном декорировании всеми видами полиграфической печати в качестве связущего в красках используют патоку, глицерин, сахар, а не связки на маслах (олифе, минеральном масле и др.), чтобы избежать дополнительного обжига до температуры 600—800° С. Без этого обжига к участкам, покрытым краской с масляной связкой, глазурь не пристает.

Производительность труда при выполнении операций на конвейере на 30—40% выше по сравнению с декорированием изделий вручную. При механизации указанного процесса рисунок переводится не на бумагу, а на эластичные штампы из мягкой резины, желатина и т. д.

Высокое качество декорирования, клеймление дна плоских изделий, а также нанесение виньеток и рисунков способом глубокой печати, обеспечивается на машине «Муррей» английской фирмы «Сервис Инжинирс» (рис. 99). Использование желатиновой подушки позволяет получить четкий рисунок, несмотря на возможные неровности и деформацию изделий. Каретка, совершая возвратно-поступательное движение, подводит клише (гравированную доску) под бункер для нанесения на него краски. При обратном движении излишек краски снимается ракелем (ножом), оставляя ее только в углублениях рисунка. Штамп — желатиновая подушка — опускается на клише, и на его поверхности отпечатывается рисунок. При обратном движении каретки под бункер с краской тарелки или блюдца, установленные на центрирующем столике, поступают под штамп, который, опускаясь, переносит рисунок на поверхность изделия. Производительность машины 480 изделий в час, расход сжатого воздуха — 1 м$^3$/мин при давлении 0,5—0,6 МПа.

Желатиновую подушку по мере загрязнения протирают влажной тряпкой, а затем спиртом и припудривают тальком.

Декорирование через сетку *(шелкография)* — один из наиболее прогрессивных и экономичных способов нанесения декора. С помощью шелкографии можно выполнять как однотонные, так и многоцветные рисунки любой сложности.

Декорирование способом шелкографии происходит в два этапа: изготовление трафарета из шелковой или

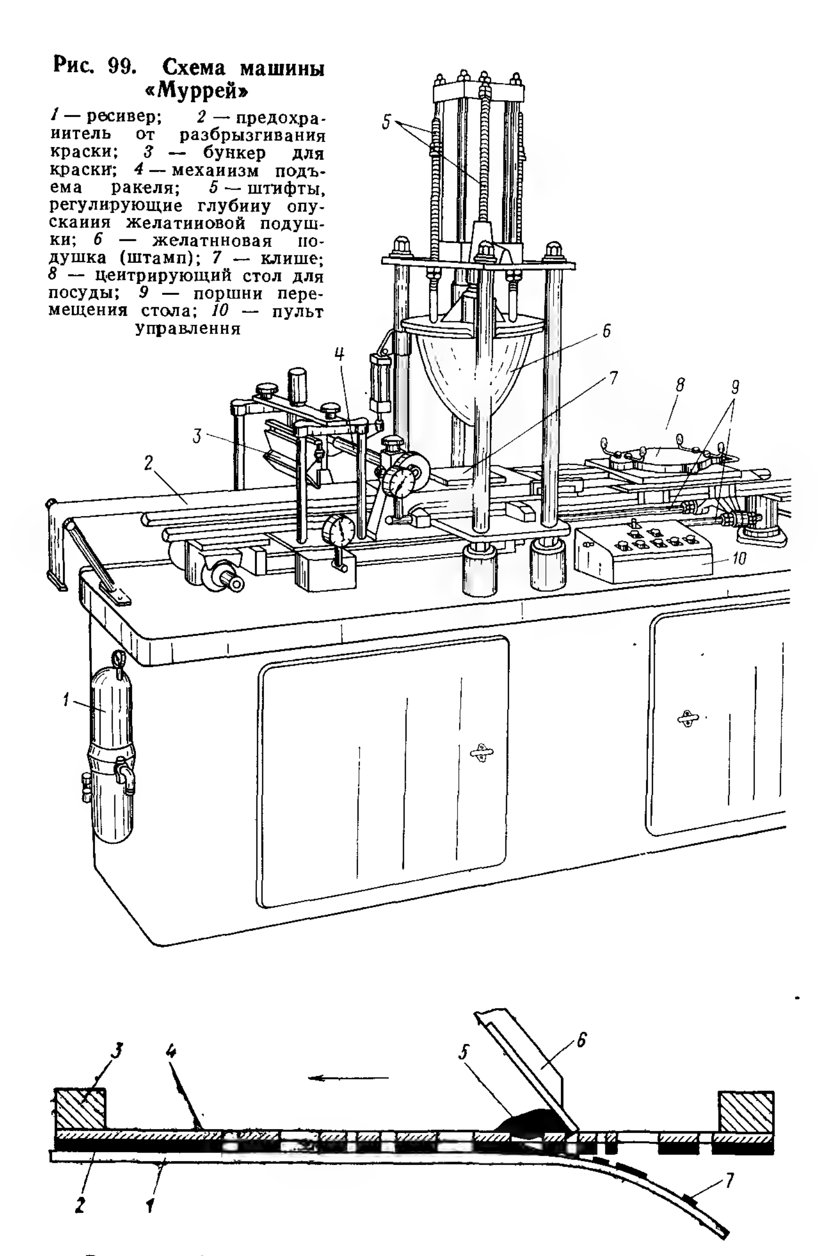


**Рис. 99. Схема машины «Муррей»**

1 — ресивер; 2 — предохранитель от разбрызгивания краски; 3 — бункер для краски; 4 — механизм подъема ракеля; 5 — штифты, регулирующие глубину опускания желатиновой подушки; 6 — желатиновая подушка (штамп); 7 — клише; 8 — центрирующий стол для посуды; 9 — поршни перемещения стола; 10 — пульт управления

**Рис. 100. Схема нанесения краски через сетчатый трафарет**

1 — поверхность, на которую наносится декор; 2 — закрытая часть трафарета, 3 — рамка трафарета; 4 — сетка; 5 — краска; 6 — резиновый ракель; 7 — краска, перенесенная на поверхность изделия



капроновой ткани или латунной сетки № 0105—01 (3140—3460 отв/см$^2$) путем проклейки ее специальными лаками или фотохимическим методом и последующее нанесение краски через сетчатый трафарет (рис. 100).

От правильного выбора материала для трафаретов — ткани, сеток и лаков, а также органической пленки, обеспечивающей перенос рисунка фотохимическим методом,— зависят толщина слоя наносимой краски, механическая прочность, химическая стойкость, четкость контуров, воспроизводимость мелких элементов рисунка. Учитывая густоту сетки и необходимость получения четкого контура рисунка, краску тщательно растирают и пропускают через сито № 01 (3460 отв/см$^2$).

Декорируют изделия вручную или на полуавтоматах различных типов. Производительность даже ручного декорирования способом шелкографии в 2—3 раза выше производительности ручного декорирования глубокой печатью.

При многоцветном рисунке краску каждого цвета наносят на отдельной рабочей позиции или на разных полуавтоматах, установленных последовательно. При этом должно быть обеспечено промежуточное подсушивание каждого цветового оттиска.

При использовании термопластичных быстротвердеющих красок (смесь воскообразных веществ и термопластических смол) их наносят через обогреваемые электротоком сетчатые (металлические) трафареты. При соприкосновении с холодной поверхностью изделий краски мгновенно затвердевают, что позволяет выполнять многоцветный рисунок на одном полуавтомате. На заводах страны широко используют полуавтоматы типа ШТП производительностью 790, 943 и 1170 чашек в 1 ч. Фирмой «Исимат» (ФРГ) создана трехкрасочная машина производительностью 1—1,5 тыс. изделий в 1 ч, а для нанесения декора на тарелки — универсальная машина производительностью до 2 тыс. изделий в 1 ч.

Обычно полуавтоматы, работающие по принципу печатания через сетку, используют для декорирования плоских и полых изделий простой цилиндрической формы.

Декорирование *штампом* — разновидность высокой печати. Его используют для нанесения на изделия обрамляющих узоров, арабесок, монограмм, марки завода. Декорируют изделия после сушки (при однократном об-

10 зак. 334

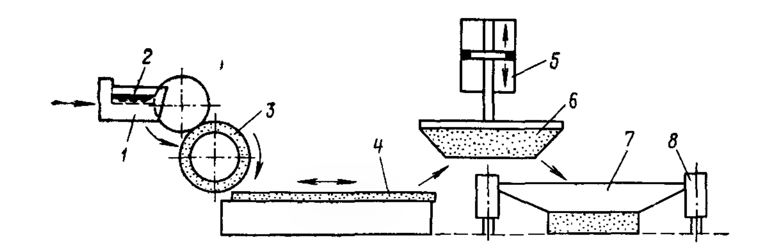



**Рис. 101. Схема механизированного нанесения рисунка штампом**

*1* — ракель; *2* — краска; *3* — валик из пористой резины; *4* — слой краски на стекле; *5* — механизм подъема и опускания штампа; *6* — штамп; *7* — тарелка; *8* — фиксатор положения изделия

жиге) или утельного обжига. Этот способ является наиболее простым, он позволяет дополнить ручную роспись, отводку и т. д.

Краски для штампа при подглазурном декорировании готовят на глицерине и патоке, при надглазурном — на скипидаре, олифе, глицерине или патоке. Краски должны быть более жидкими, чем при декорировании глубокой печатью или шелкографией, а препарат золота — более густой консистенции. Краски или золото наносят тонким слоем («расправляют») на палитру из стекла. При прикосновении к ней штампа краска вбирается его поверхностью и затем переносится на изделие (рис. 101). При декорировании вручную используют штампы из желатина или губчатой резины.

Известны машины фирмы «Дюбуи» (Франция) для нанесения рисунков на плоские и полые изделия. Их производительность 1,5—3 тыс. изделий в 1 ч. При помощи специальных механизмов, снабженных резиновой лентой, можно выполнять любой рисунок (в том числе и многоцветный) на корпусе полых изделий, бортах и дне плоских изделий.

Для декорирования полой и плоской посуды широко используют машины фирмы «Нейтчш» (ФРГ). Надглазурный и реже подглазурный декор наносится резиновым штампом. Также применяют и полуавтоматы фирм «Цейдлер» (ФРГ), «Сервис Инжинирс» (Англия) и др.

*Декалькомания.* Деколью декорируют глазурованные изделия, но возможно также подглазурное нанесение деколи по утельному черепку. Переводят деколь на глазурованное изделие в следующей последовательности. Изделие предварительно очищается от пыли. На место будущего рисунка через шаблон кистью наносят тонким слоем мастику (терпентин), состоящую из 30—35% канифоли и 65—70% красного скипидара, и подсушивают. Этой же мастикой смазывают лицевую сторону рисунка и также слегка подсушивают. Отрезанные, предварительно смоченные в теплой воде в течение 1—1,5 мин отдельные рисунки (лепки) накладывают на смазанные мастикой места изделий и обжимают влажной губкой. От смачивания в воде декстриновой пленки теряется прочность связи ее с бумагой и последняя легко снимается, оставляя рисунок на поверхности изделия. Изделия с рисунком подсушивают при температуре 20—25° С, промывают от остатка мастики 1,5—2%-ным раствором соды или аммиака, а затем чистой водой, окончательно высушивают при 40—45° С и направляют на обжиг.

При переводе деколи на поверхность утельного изделия смазывают место расположения рисунка 3—4%-ным раствором карбоксиметилцеллюлозы, а лицевую сторону рисунка — мастикой из равных частей канифоли и скипидара. Далее поступают так же, как и при надглазурном декорировании.

Организация труда на участке декорирования изделия деколью предусматривает расположение рабочих мест у конвейера в порядке последовательности выполнения операций. Там же располагаются сушильные камеры и устройства для мойки изделий. Каждый конвейер длиной 15—25 м обслуживают 17—20 чел. При скорости движения ленты конвейера 0,4—0,5 м в 1 мин производительность составляет 400—700 изделий на 1 чел. в смену.

В последние годы на заводах широко используют «сдвижную» деколь, что исключает необходимость в покрытии изделий клейкой мастикой, промывку в щелочном растворе и воде. Рисунки замачивают в теплой воде на 1—2 мин, накладывают на поверхность изделия лицевой стороной вверх и осторожно извлекают из-под пленки с рисунком подкладочную бумагу. Затем плотно прижимают рисунок к изделию, разглаживают, сушат при температуре 20—40° С и направляют на обжиг. Использование «сдвижной» деколи выгодно, так как значительно сокращается длительность процесса декорирования, улучшаются условия труда (отсутствуют пары аммиака, скипидара и др.) и качество декорирования, на 20—25% повышается производительность труда.



10* Зак. 334

Деколь наносят вручную или на полуавтоматах и автоматах, расположенных в поточных или автоматизированных линиях. При этом производительность линий достигает 700—900 изделий в 1 ч.

Реже используют способы декорирования фотопечатью и травлением, напылением краски аэрографом в электростатическом поле, а также методы электрофотографии и электрографии.

В процессе декорирования возможны следующие дефекты: помарки краской, неправильное расположение рисунка, несхожесть линий (усиков, отводок, лент), отслаивание или смывание глазурью декора при подглазурном докорировании. Помарки краской снимают до обжига раствором такого состава: азотная кислота (дымящаяся) 100 см³, оксид магния 5 г, вода 200 см³. Отслаивание краски устраняют добавкой в нее клеящих веществ, улучшением поверхности (обдувка, протирка), регулированием пористости утельного черепка и толщины слоя краски.

**Обжиг декорированных изделий.** Изделия с нанесенным декором по подвяленному или высушенному черепку, обжигаемые однократно, декорированные после утельного обжига или по нанесенному глазурному покрову, обжигают по режиму политого обжига данного вида изделия. При этом должны поддерживаться не только режим и температура, но и определенная газовая среда.

Изделия с надглазурным декором обжигают при 600—850° С. В температурном интервале от 120—150 до 400—450°С выгорают органические связующие (скипидарные добавки, масла и др.). При 600° С начинается размягчение глазури и расплавление флюсов, что способствует прочному связыванию красок с глазурью. Обжиг надглазурного декора проводят в окислительной газовой среде, чтобы избежать восстановления красителей.

Повышение температуры и скорость охлаждения регулируют в соответствии с уровнем термостойкости изделий, обеспечивая достаточную тягу для удаления продуктов разложения (выгорания) органического связующего. При слишком быстром подъеме температуры в первый период обжига возможно вспучивание краски продуктами выгорающих органических веществ. Это приводит к дефекту «сборка» декора. Интенсивный



подъем температуры при 600—850° С способствует быстрому плавлению флюса, его расплав не успевает вступить в химическое взаимодействие с красящими оксидами, чем достигается высокая сочность и яркость надглазурных красок. Охлаждение проводят равномерно и достаточно интенсивно с некоторым замедлением в температурном интервале модификационных превращений кварца 600—525° С.

Обжигают декорированные изделия обычно в печах непрерывного действия, реже в печах периодического действия. Широко распространены щелевые печи с сетчатым, движущимся подом, созданные в УНИИСП на базе отжигательных печей типа ЛМН-1000×18 (рис. 102). Учитывая, что обжиг надглазурных красок осуществляется при температуре до 850° С, для транспортерной ленты использована жаростойкая проволока из стали Х18Н9Т. Муфельные печи работают на жидком топливе, печи прямого нагрева — на газе.

Загрузка изделий производится на открытой части конвейерной ленты, вынесенной из печи на 1,2 м. Сортировка и

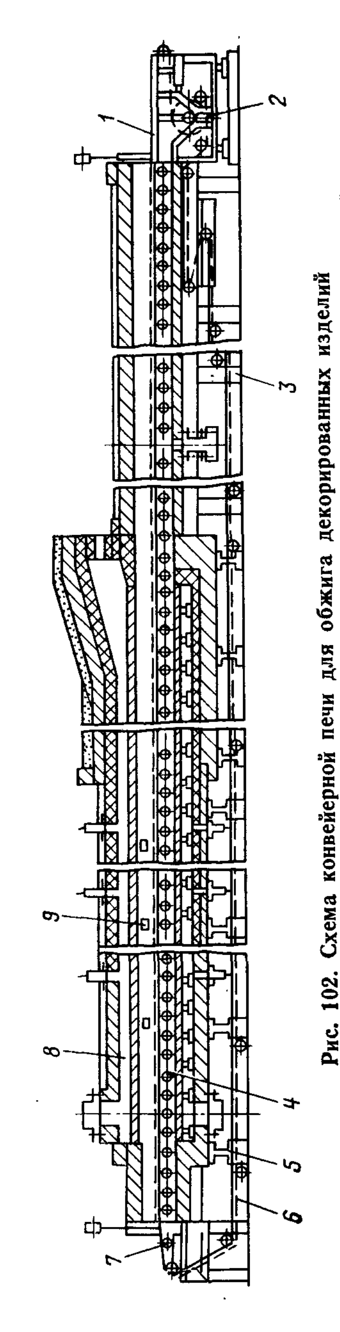



**Рис. 102. Схема конвейерной печи для обжига декорированных изделий**

*1, 7* — места загрузки и выгрузки изделий; *2* — привод; *3* — стойки; *4* — ролики; *5* — рама; *6* — лента конвейера; *8* — газоходы; *9* — окна для отсоса паров воды в зоне подогрева

разгрузка изделий происходят на открытой части конвейера в конце зоны охлаждения. Скорость транспортирующей ленты может меняться в пределах от 0,021 до 0,4 м в 1 мин. Суточная производительность муфельной печи 18—36 тыс. изделий. Расход условного топлива в муфельной печи 0,12—0,16 кг на 1 кг изделий; в печи прямого нагрева — до 0,07 кг; в П-образной — 0,6—0,82 кг; в туннельной — 0,5—0,6 кг. Коэффициент полезного действия муфельной печи около 26%, печи прямого нагрева — до 32%. Продолжительность обжига в муфельной печи фарфоровых изделий 2—3 ч, фаянсовых — 3—4 ч, в туннельной — 7—14 ч.

Для обжига декорированных изделий используют также роликовые и вертикально-щелевые печи (на Дулевском заводе). Применяют также электрические печи периодического действия.

На зарубежных заводах для обжига декорированных изделий наряду с конвейерными печами широко используют плитодвигательные двух- и четырехканальные печи с электрическим обогревом (Италия), роликовые печи (США). Заборку изделий на обжиг осуществляют в специальных контейнерах из жаростойкой стали или на огнеупорных поддонах.

В Англии сконструирована и испытана печь с воздушной подушкой для закрепления красок на фарфоро-фаянсовых изделиях при температуре обжига ниже 900° С с циклом 5—30 мин. Расход условного топлива в такой печи 0,15—0,5 кг на 1 кг обжигаемых изделий. Отходы при обжиге составляют 0,4—1,2%.

**Дефекты декорирования изделий.** При подглазурном декорировании возможны следующие дефекты после политого обжига:

*сборка глазури* возникает при недостаточном содержании в краске плавней и пластифицирующих добавок;

*изменение тона краски* происходит при отклонении газового режима при политом обжиге от заданного;

*растекание краски* (расплывчатость рисунка) возможно при излишнем содержании плавней в краске и глазури. В этом случае необходимо повысить вязкость краски вводом в ее состав декстрина или глицерина и наносить декор на высушенный черепок (до утельного обжига);

*вскипание красок* в виде вздутий и наколов на поверхности глазури, покрывающей декор, указывает на



повышенное содержание в составе краски оксидов $Co_2O_3$, $Ni_2O_3$, $Fe_2O_3$, MnO и др., выделяющих при обжиге много кислорода. Для устранения дефекта необходимо проверить и откорректировать состав краски, наносить краску равномерным слоем, а также соблюдать режим обжига;

*восстановление цветных глазурей и красок* («вскип»), проявляющееся в образовании шагреневой поверхности, матовости (снижение блеска), пористости, неоднородности окраски, является результатом науглероживания глазури и краски. Чтобы этого не происходило, необходимо соблюдать заданные температурный и газовый режимы обжига.

После обжига в муфельной печи изделий с надглазурным декором возможны следующие дефекты:

*сухость краски* проявляется в виде матовости, что указывает на низкое содержание в краске флюса и недостаточную температуру обжига, несоблюдение оптимальной толщины слоя краски, попадание в муфель паров воды (с отходящими газами через трещины в муфеле, из сырых лещадок и др.);

*изменение и обесцвечивание тона краски* (потускнение золота, пурпурные и розовые цвета приобретают синеватый оттенок и т. д.) возникают при нарушении температурного и газового режимов обжига;

*вспучивание краски* возможно при нанесении ее тонким слоем, нарушении режима обжига, что приводит к несвоевременному выгоранию органических веществ, имеющихся в краске;

*сборка краски и деколи* возникает при быстром подъеме температуры, плохой промывке и сушке изделий с нанесенной деколью, смачивании рисунка глицерином, использовании высокозольной олифы при нанесении деколи;

*потек краски* возможен при слишком большой добавке скипидара или масел при расправке краски на палитре;

*разрыв рисунка деколи* образуется при невнимательном наклеивании лепков на изделия, длительном их увлажнении, небрежном снятии бумажной подложки и плохой мойке изделий после декорирования, а также при быстром подогреве изделий при обжиге;

*царапины на рисунках* — результат небрежной укладки декорированных изделий на транспортные средства;

*матовость краски* проявляется при несоблюдении температурного режима обжига и попадания печных газов в муфель печи, в результате чего происходит восстановление (кристаллизация) краски;

*недожог краски* возможен при недостаточной температуре обжига, при этом краска легко стирается фланелевой тканью;

*цек* краски появляется при нанесении краски толстым слоем, несоответствии флюса, большой скорости охлаждения изделий после обжига;

*чернота* возникает при попадании сажистого углерода от выгорания органических растворителей краски—скипидара, канифоли и др.;

*засорка* происходит из-за низкого качества огнеупорного припаса и плохой его обмазки;

*помарки краской* — результат низкой технологической дисциплины. Помарки золотом снимают плавиковой кислотой или царской водкой. Помарки краской снимают также механическим путем (утельным черепком и др.). Для снятия помарок используют карандаши или пасту состава, %: электрокорунд марки ЭБ-М20-28 — 62,5; карбид кремния марки Э-М14-20 — 22; воск — 15,5.

**Сортировка и упаковка.** Изделия сортируют в соответствии с требованиями нормативно-технической документации: «Посуда фарфоровая столовая и чайная». ОСТ 17-84-71; «Тонкостенная фарфоровая посуда». ОСТ 17-513-75; «Изделия из низкотемпературного фарфора» ТУ УССР 2442-73; «Майоликовые изделия» ОСТ 17-85-71 и др.

В зависимости от наличия дефектов годные изделия рассортировывают на три сорта и ставят цветное клеймо: 1-й сорт — красное, 2-й — синее, 3-й — зеленое. Изделия, предварительно завернутые в бумагу, упаковывают в пачки, укрупненные пакеты, картон или картонные коробки. Масса укрупненного пакета или коробки не должна превышать 20 кг.

Хранят упакованные изделия раздельно по видам, назначению, сортам и разделкам.

*Вопросы для самопроверки*

**1. Назначение декора и его классификационные признаки.**
**2. Декорирование окрашиванием массы, ангобами и цветными глазурями.**
**3. Ручная роспись и декорирование аэрографом, их особенности.**



**4. Декорирование глубокой печатью и штампом, их особенности.**
**5. Особенности декорирования шелкографским способом.**
**6. Декорирование деколью простой и сдвижной, их различие.**
**7. Обжиг декорированных изделий, печи, режим обжига.**
**8. Дефекты декорирования и меры по их устранению.**

# ЧАСТЬ II. ТЕХНОЛОГИЯ ПРОИЗВОДСТВА ФАРФОРО-ФАЯНСОВЫХ ИЗДЕЛИЙ

## ГЛАВА 12. ОСОБЕННОСТИ ПРОИЗВОДСТВА ИЗДЕЛИЙ

### 1. Производство твердого фарфора

В зависимости от состава, технологических условий производства и физико-технических свойств различают изделия из твердого и мягкого фарфора. Из твердого фарфора изготовляют изделия бытового (хозяйственного) и электротехнического назначения. К твердому фарфору причисляют высокоглиноземистый фарфор и другие разновидности. Среди всех фарфоровых изделий 95% из твердого фарфора.

Сырьевыми материалами для производства фарфоровой посуды являются: каолины обогащенные для керамических изделий (ГОСТ 21286—75 с изм.); глины беложгущиеся, высокопластичные Веселовского месторождения (МРТУ 21-40-69), а также Трошковского месторождения высшего и 1-го сортов (РСТ РСФСР 305-72); глины бентонитовые для тонкой керамики (ГОСТ 7032—75); полевой шпат кусковой для тонкой керамики (ТУ 21-25-97-72); пегматит (ГОСТ 7030—75 с изм.); песок кварцевый для тонкой керамики (ГОСТ 7031—75); глинозем технический (ГОСТ 6912—74 с изм.); доломиты Мелехово-Федотовского месторождений (ТУ 21-01-135-67); кварциты вторичные Гусевского месторождения (РСТ РСФСР 432—73); мел природный обогащенный (ГОСТ 12085—73 с изм.); бой фарфоровый первого и второго обжига (нераскрашенный).

Массы изделий классического твердого фарфора содержат 50% глинистых материалов (глины, каолины), 25% полевого шпата, 25% кварца.

Предварительно кусковые каменистые материалы: кварц, полевой шпат, пегматит, доломит и мрамор, а в случае загрязнения и политой фарфоровый бой — промывают в моечном барабане, сортируют и обжигают при 850—900° С. Затем их измельчают на бегунах с гранитными или кварцитовыми катками и подом с самоотсевом или на бегунах, работающих в замкнутом цикле с ситом-бурат или вибрационным ситом и магнитным сепаратором. Полевошпатовые материалы просеивают через сито № 1,25 (37,2 отв/см$^2$), кварц и бой изделий — через сито № 09 (64 отв/см$^2$), кварцевые отходы каолинового производства — через сито 4 отв/см$^2$.

Тонкое измельчение каменистых материалов производят в шаровых мельницах мокрого помола при соотношении (по массе) размалываемых материалов, шаров и воды 1:(1,2—1,8):1. При каждой загрузке материалов добавляют мелющие тела соответственно их истираемости: для кремневых шаров — 0,05%, для уралитовых — 0,025% массы мелющих тел за 1 ч работы мельницы. Помол ведут дифференцированно. Сначала измельчают в течение 2,5—3 ч кварцевые материалы и бой политых изделий, после этого загружают и размалывают полевошпатовые материалы и бой изделий первого обжига. Для ускорения процесса измельчения и повышения механической прочности массы в воздушно-сухом состоянии рекомендуется добавлять при помоле ССБ в количестве 1% по массе сухого размалываемого материала.

Глинистые материалы, отходы при сушке и обрезки распускают в воде, чтобы довести влажность суспензии до 65—70%. Количество отходов сушки и обрезков не должно превышать 30% общего объема глинистых материалов в массе. Допускается роспуск глинистых материалов в шаровых мельницах, в которые их загружают по окончании измельчения каменистых компонентов, домалывая совместно в течение 2—3 ч.

Суспензии, поступающие из мешалок и шаровых мельниц, перед подачей в сборники-смесители пропускают через сито № 02 (918 отв/см$^2$). Суспензию из сборников-смесителей процеживают на вибраситах № 009 (3460 отв/см$^2$) и подвергают магнитному обогащению. Готовая суспензия должна иметь остаток в пределах 0,5—1% на сите № 0056 (10 085 отв/см$^2$).

Готовую суспензию влажностью 55—60% подают в расходные сборники, оборудованные размешивающими



механизмами. Для облегчения и ускорения процесса последующей фильтрации суспензию в этих сборниках подогревают до температуры не более 45° С.

Обезвоживаие суспензии до получения массы влажностью 20—25% производят на фильтр-прессах. Давление фильтрации 1—1,5 МПа. Далее массу проминают на вакуум-прессах, после чего выдерживают ее в закрытом помещении не менее 10 сут в условиях повышенной влажности или двукратно проминают на вакуум-прессах при разрежении не менее 0,06 МПа.

При подготовке глазури компоненты измельчают в шаровых мельницах путем совместного помола до величины частиц, характеризующейся остатком не более 0,02—0,05% на сите № 0056. Влажность глазурной суспензии 45—50%. В качестве мелющих тел применяют только кремневую гальку диаметром 15—20 мм. Соотношение М:Ш:В составляет 1:1,5:(0,9—1). Глазурную суспензию процеживают через двойное вибросито № 009 и № 0071 (соответственно 3900 и 6400 отв/см$^2$) и подвергают магнитному обогащению.

Формуют фарфоровую посуду из пластичной массы в гипсовых, полихлорвиниловых и других формах на механизированных формовочных станках, полуавтоматах или автоматах, а также отливают из шликера в гипсовых формах на литейных машинах или стендах.

Влажность пластичной массы для плоских изделий, формуемых на полуавтоматах с роликовым шаблоном, должна быть 20—22%, для плоских изделий, формуемых на шпиндельных формовочных станках, — 22—23%, для чашек, кружек, пиал, чайников, сахарниц, сливочников, формуемых на шпиндельных станках,— 24—26%, для крышек и бомз, формуемых на полуавтоматах,— 19—21%.

При снижении влажности изделий до 12—18% производят их оправку мелкозернистой шлифовальной шкуркой. Абразивной шкуркой и резаком оправляют края плоских изделий, а внутреннюю поверхность заглаживают влажным поролоном только при наличии на ней исправимых дефектов или для удаления пыли. Подвяленные чашки и кружки выправляют после выемки из форм. Отделку и приставку ручек, носиков и других деталей производят вручную или при помощи специальных полуавтоматов. В случае необходимости подбивку приставленных деталей производят после окончательной сушки.

Сушат изделия в один или несколько приемов: блюдца — в один, тарелки — в один или два. Длительность сушки в один прием 2—3 ч. Сушка полых изделий обычно осуществляется в два приема, а при приставке деталей по «сухому» корпусу изделия — в три. При сушке в два приема изделия при первой сушке в конвейерной сушилке подвяливаются в гипсовой форме до влагосодержания от 15—17% (чашки, кружки) до 16—18% (чайники, сахарницы, пиалы и др.). Продолжительность подвялки в формах от 1 до 2 ч при температуре теплоносителя от 35—40° С до 65—70° С и относительной влажности теплоносителя 50—30%. Одностадийная сушка плоских изделий на гипсовых формах в конвейерных конвективных сушилках длится 3—4 ч и требует трехкратного количества форм по сравнению с высушиванием изделий за 1 ч.

Более прогрессивна двухстадийная сушка изделий: на первой стадии — направленным потоком теплоносителя, нагретого до 70—75° С при скорости 16—17 м/с, на второй — конвективным способом. Досушка плоских изделий после снятия с гипсовых форм до влажности 1,5—2,5% осуществляется в конвейерной сушилке за 1—1,2 ч при 85—100° С, а полых изделий за 3 ч при температуре теплоносителя 45—50° С и относительной его влажности 50—35%.

Перед первым обжигом тонкостенные чашки и блюдца склеивают попарно, что устраняет возможность деформации и «засорки», повышает плотность садки, исключает потребность в бомзах. Мастика для склеивания состоит из 33% клея столярного, 10% глинозема обожженного, 10% кварца молотого, 47% воды.

Первый обжиг осуществляют в печах непрерывного действия. Влажность изделий, поступающих на обжиг, не должна превышать 2% при обжиге в туннельных печах и 1% при обжиге в конвейерных печах. Температура обжига должна быть 900—1000° С. Печная среда — сильно окислительная. Продолжительность обжига в туннельной печи 6—14 ч, в щелевой с сетчатым подом 1—1,2, в щелевой с роликовым подом 3—3,5, вертикальной щелевой 0,5—1 ч. Расход условного топлива 0,55—0,65 кг на 1 кг изделий.

Обожженные изделия с небольшими дефектами оправляют абразивной шкуркой, отставшие детали повторно приставляют.



Глазурование изделий производят на полуавтоматах или конвейерных линиях, организуемых по следующим технологическим схемам: при механизированном способе — очистка полуфабриката от пыли, глазурование на глазуровочных машинах, зачистка опорных поверхностей (ножек, краев) на машинах для зачистки глазури, склеивание попарно изделий для обжига; вручную — очистка полуфабрикатов от пыли, пропитка опорных поверхностей изделий расплавленным парафином, ручное глазурование изделий, зачистка опорных поверхностей, склеивание попарно изделий для обжига.

Нормальная плотность глазурной суспензии для глазурования утельных изделий в зависимости от водопоглощения черепка — 1,35—1,42 г/см$^3$, для глазурования при однократном обжиге высушенных изделий — 1,38—1,45 г/см$^3$.

Второй обжиг изделий в зависимости от состава массы осуществляют при 1350—1410° С. Считается, что оптимальная температура обжига фарфора должна составлять 80—85% его огнеупорности.

Политой обжиг по технологическим соображениям делят на пять периодов (рис. 103). Первый: подогрев до 250—300° С, среда — окислительная, содержание $CO_2$ 5—6%, скорость подъема температуры до 125° С в 1 ч. Второй: подогрев до 900—940° С, среда — окислительная, содержание $CO_2$ 9—14%, скорость подъема температуры 200—250° С в 1 ч и более. Третий: выдержка при 940—1040° С, среда — сильно окислительная, содержание $O_2$ 8—10%, $CO_2$ 10—12%, скорость подъема температуры снижают до 12—25° С в 1 ч. Четвертый: период восстановительного огня, температура 1040—1280° С, содержание $CO_2$ 15—17%, $O_2$ 0,5—1%, $CO+H_2$ 2—6%, скорость подъема температуры 30—50° в 1 ч. Пятый: период нейтрального огня от 1280° С до конечной температуры обжига 1350—1410°С, содержание $CO_2$ 16—19%, $O_2$ 0,5—3%, $CO$ 1—2%. Коэффициент избытка воздуха $\alpha = 1{,}05$.

Выдержка изделий при максимальной температуре обжига в течение 1—1,5 ч способствует повышению содержания жидкой фазы, более равномерному распределению в ней кристаллических фаз, газовых пузырьков. Выдержка не должна быть длительной. Однако короткая выдержка при высокой конечной температуре обжига обусловливает образование крупных, беспорядочно

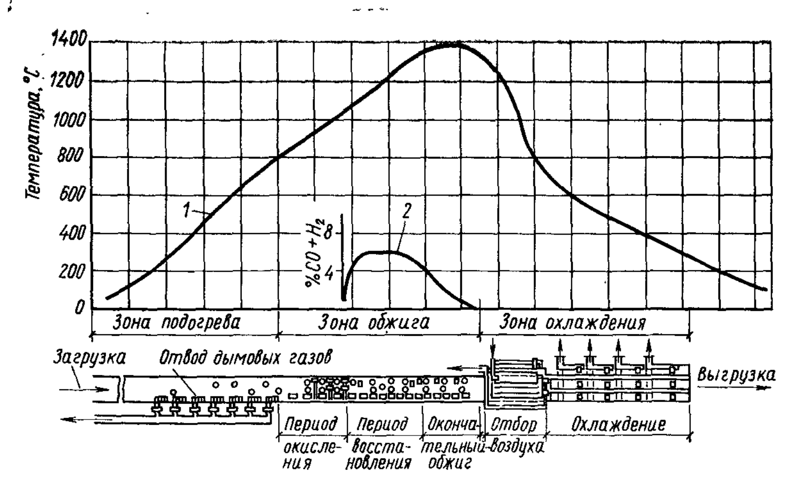



**Рис. 103. Кривые обжига в туннельной печи**

*1* — температура; *2* — содержание $CO+H_2$ в печных газах

располагающихся в жидкой фазе игл муллита. Чрезмерно короткая выдержка не обеспечивает протекания до конца процессов фарфорообразования и требуемого розлива глазури. При обжиге фарфоровых изделий в туннельных печах продолжительность выдержки составляет 3—6% общей длительности обжига.

Аэродинамический режим в туннельной печи следующий: в зоне подогрева — разрежение, в зоне большого огня — слабо положительное давление, в зоне охлаждения — положительное давление. В подвагонеточном канале давление должно быть на 1 Па меньше, чем в печном канале.

Для того, чтобы повысить белезну фарфоровых изделий, снижают температуру начала окислительной выдержки и скорость нагрева, повышают содержание в печных газах кислорода, снижают температуру начала восстановительного периода, повышают концентрацию в печных газах продуктов неполного сгорания топлива, увеличивают длительность этого периода, удлиняют продолжительность конечной выдержки при умеренной температуре. Создание слегка восстановительной (содержание CO — 0,4%) газовой среды на участке первых пяти позиций вагонеток в зоне охлаждения туннельной печи способствует повышению белизны фарфоровых изделий на 3—4%.



Обработку обожженных изделий для улучшения их товарного вида и устранения исправимых дефектов производят в следующем порядке: шлифовка и полировка краев изделий, обжигаемых на бомзах или склеенных попарно; шлифовка или зачистка ножек; шлифовка и полировка «засорки», выбоин и щербин.

Края полых изделий, обжигаемых на бомзах, а также чашек и блюдец, обжигаемых склеенными попарно, шлифуют и полируют на карусельных полуавтоматах с помощью абразивных лент следующей зернистости: для грубой шлифовки — 16—25, для окончательной шлифовки — 10—12, для полировки — 3—6 мкм.

Ножки тарелок, крупных полых и плоских изделий шлифуют на шлифовальных станках с помощью абразивных кругов, покрытых синтетическими алмазами обычной прочности.

«Засорку» на изделиях, а также небольшие щербины и зашибы края сошлифовывают на шпиндельных станках с помощью кругов из синтетических алмазов высокой прочности или абразивных кругов марки Э946СТ 19КВ.

Затем изделия сортируют по степени деформации и раскраске. Рассортированную продукцию маркируют, нанося при помощи штампа товарный знак (клеймо). Товарный знак ставят по центру дна изделий надглазурными красками с последующим закреплением их обжигом.

Декорируют фарфоровые изделия в основном надглазурным декором. Для нанесения декора используют все способы надглазурного декорирования (см. рис. 96) и их комбинации.

При обжиге изделий с надглазурным декором соблюдают следующий режим термообработки: обжиг ведут в окислительной атмосфере, температура обжига должна соответствовать паспортным данным обжигаемых красок, длительность выдержки при максимальной температуре не менее 8—10 мин, охлаждение изделий в интервале температур 650—500° С замедляют по сравнению с другими периодами.

Во время обжига нельзя допускать быстрого повышения температуры в печи, приводящего к вскипанию красок, более высокой температуры обжига по сравнению с установленной для данного номера краски, чтобы предупредить изменение тона краски или полное ее

обесцвечивание вследствие пережога, а также восстановительной газовой среды, вызывающей закопченность красок (задымление и сероватость оттенков).

Упаковку, транспортирование и хранение готовых изделий производят в соответствии с действующей нормативно-технической документацией.

**Организация производства изделий на автоматизированных линиях.** Совершенствование технологических процессов, создание прогрессивных тепловых агрегатов (радиационных сушилок, щелевых печей и др.), освоение однократного скоростного бескапсельного обжига позволяют по-новому решать вопросы организации производства изделий на поточных механизированных линиях.

Эксплуатация поточных линий подтвердила возможность сократить цикл производства на участках от формования до политого обжига до 10 ч включительно при однократном обжиге и до 15 ч при двукратном. По сравнению с длительностью производственного цикла при использовании обычной технологии и обжиге в туннельных печах количество производственных операций и расход топлива сократились в 3 раза, а электроэнергии в 6 раз.

Отличительной особенностью современного формовочного оборудования, используемого на автоматизированных линиях, является его высокая производительность — 3,6—4,2 тыс. тарелок в 1 ч, что обусловлено увеличением числа шпинделей с 2—4 до 5—15 и компоновкой их с сушилками и печами на одной линии.

На рис. 104 изображена автоматическая линия ФЛТ-9 для формования и сушки фарфоровых тарелок, разработанная в ОМА-45 ЦПТКБ Минлегпрома РСФСР. Дозирование массы осуществляется струйным дозатором от вакуум-мялки ВМ-220. Отрезанные заготовки из двухручейкового мундштука вакуум-мялки одновременно подаются на две формы. После окончания формования шпиндели опускаются, оставляя формы с изделиями на захватах конвейера, который перемещает их на позицию сталкивания на полки сушилки. Форм в сушилке 804, люлек — 135. Температура сушки 70—95° С, продолжительность ее 30 мин, расход воздуха 40 м³/ч.

Сдвиг формы с конвейера (одновременно сдвигается 12 форм) производится периодически через каждые 21,6 с во время его останова. За это время конвейер



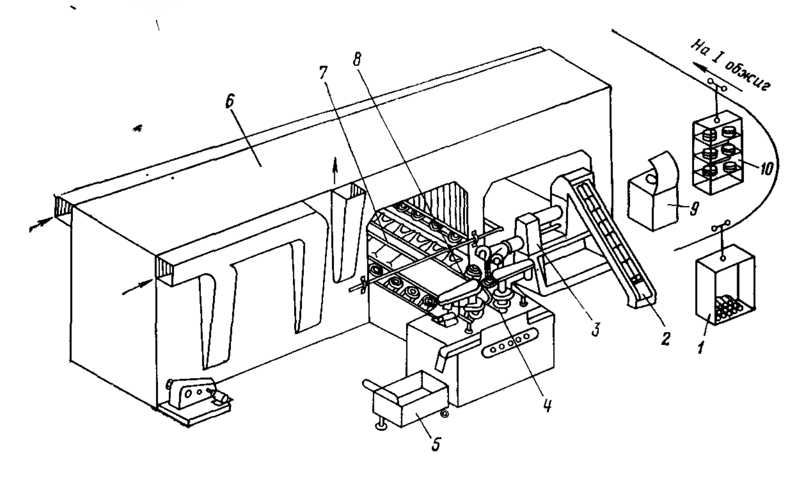



**Рис. 104. Схема линии ФЛТ-9 на Дулевском заводе**

*1* — запас массы; *2* — транспортер подачи заготовок; *3* — дозатор массы с двухмундштучной головкой; *4* — формовочный автомат; *5* — емкость для отходов массы; *6* — сушилка; *7* — переставитель; *8* — транспортер форм; *9* — полуавтомат зачистки; *10* — тарелки

совершает три передвижки, автомат — соответственно три формовки и цикл работы повторяется.

Производительность линии составляет 0,8 тыс. тарелок в 1 ч. Обслуживает линию один оператор. На базе этой линии создана новая — производительностью 1,2 тыс. изделий в 1 ч. В нее включен полуавтомат для двухстадийного формования тарелок и участок их сушки направленным потоком теплоносителя, механизмы для съема изделий после сушки, зачистки края и поверхности, укладки тарелок в стопки.

На автоматизированной линии для производства чашек, также разработанной ОМА-45 ЦПКТБ Минлегпрома РСФСР, технологические операции выполняются в последовательности, указанной на рис. 105. Гипсовая форма подается автоматически на участок дозирования массы *1*. Приготовление заготовок массы диаметром 48—50 мм и выдача их в гипсовые формы осуществляется двухмудштучным шнековым вакуумным дозатором *2* производительностью до 1,5 тыс. изделий в 1 ч. Величина разрежения 0,09 МПа. Отрезаются заготовки электромагнитным резаком. Гипсовая форма *3*, заполненная массой, вынимается из гнезда конвейера подъемным шпинделем, и при последующем ходе его вверх в ней

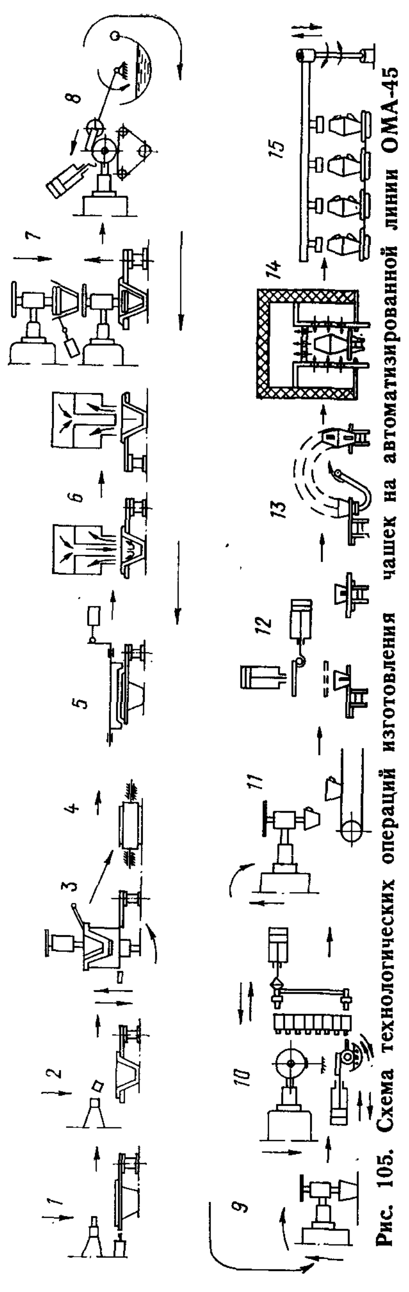


Рис. 105. Схема технологических операций изготовления чашек на автоматизированной линии ОМА-45

формуется корпус чашки. Срезанные излишки массы удаляются по конвейеру *4*. После формования корпуса чашки и установки гипсовой формы в гнездо конвейера производится контрольная фиксация ее на позиции *5*.

Предварительная сушка изделий в гипсовой форме происходит в ленточной конвейерной сушилке *6* воздухом, нагретым в калорифере до температуры 300° С и подаваемым направленным потоком. Продолжительность сушки 2 мин. Далее изделие автоматически извлекается из гипсовой формы на позиции *7* и передается на оправку *8* с одновременным контролем наличия изделия на переставителе. Оправляют поверхность изделия влажной губкой, край подрезают профильным резцом. Переставителем *9* изделия подаются на позицию приставки ручек *10*. Нанесение шликера на торцы ручек и приставка ручек к корпусу осуществляются автоматически. Переставителем *11* изделие передается на позицию *12* для нанесения клея на край чашки с последующим склеиванием двух чашек на позиции *13* для



спаренной сушки и обжига. Окончательно высушивают спаренные изделия в одноканальной сушилке *14* воздухом, нагретым до 400° С. Продолжительность сушки 1 мин. Высушенные изделия переставителем *15* передаются в щелевую печь для утельного обжига. Производительность линии составляет 1,44 тыс. изделий в 1 ч. Обслуживают линию 2 чел. Мощность, потребляемая линией, 25 кВт.

Представляют интерес поточные линии К/ДТе-$А_2$ и К/ДТе-$А_1$ народного предприятия «Тюрингия» (ГДР), предназначенные для изготовления глубоких и мелких тарелок диаметром 200—240 мм. Каждая линия состоит из узлов подготовки пластов, формования, сушилки для предварительной сушки изделий на формах и окончательной досушки.

Массу влажностью 22,5—24,5% перед поступлением на формование по наклонному ленточному конвейеру с двойным разветвлением подают в двойной одношнековый вакуумный пресс, выдающий уплотненную скалку диаметром 80 мм, разрезаемую струнным гидравлическим устройством на отдельные заготовки требуемой величины с помощью фотоэлемента. Загрузки вакуум-пресса также контролируется фотоэлементом. Гипсовые формы автоматически подаются на формующие шпиндели и удерживаются в формодержателях вакуумным присосом. Заготовки закладываются в формы под влиянием собственной массы. Формующая головка имеет электрический обогрев, регулируемый двумя термостатами с точностью до 1—3° С.

Сформованные изделия поступают в конвейерную сушилку, разделенную на три горизонтальные зоны предварительной (две нижние зоны) и окончательной (верхняя зона) сушки. После подсушивания на форме изделия снимаются пневмосъемником и переставляются на полку для досушивания.

В нижней части зоны предварительной сушки проходит конвейер с люльками, на которых размещены гипсовые формы с изделиями. Движение цепей нижней и верхней зон сушилки синхронизированы с работой формовочного автомата. Теплоносителем является горячий воздух, получаемый в специальных нагревателях (паровых или водяных). Давление пара 0,3—0,5 МПа. Температура теплоносителя в зонах предварительной сушки составляет 65—70° С, в зоне окончательной сушки —

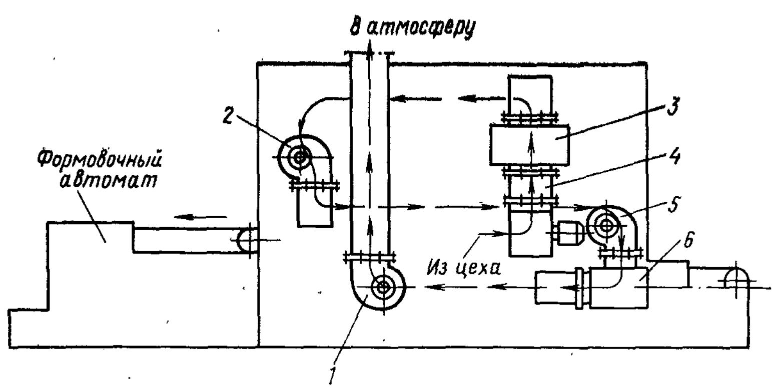



**Рис. 106. Схема циркуляции воздуха в сушилке**

*1* — вентилятор отбора теплоносителя; *2* — вентилятор рециркуляции теплоносителя; *3* — калорифер; *4* — вентилятор подачи воздуха; *5* — вентилятор подачи теплоносителя на подогрев; *6* — калорифер

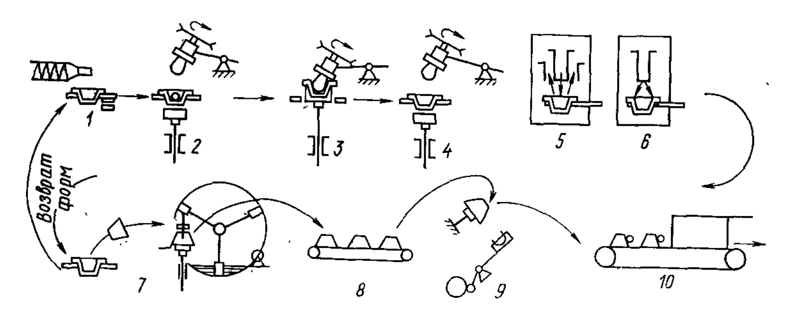



**Рис. 107. Схема технологических процессов, выполняемых на линии фирмы «Сервис Инжинирс»**

*1* — дозирование массы; *2* — передача форм на позицию формования; *3* — формование корпуса изделий; *4* — передача изделий на транспортное устройство сушилки; *5* — сушилка; *6* — охлаждение; *7* — извлечение изделий из формы и оправка; *8* — передача изделий к полуавтомату приставки ручек; *9* — приставка ручек; *10* — передача в конвейерную сушилку на досушку или в накопитель

95—110° С. Циркуляция воздуха, осуществляемая вентиляторами по всем трем зонам, обеспечивает равномерную сушку изделий (рис. 106). Производительность линии достигает 1,2 тыс. изделий в 1 ч.

На автоматизированных линиях для изготовления фарфоровых чашек фирмы «Сервис Инжинирс» (Англия), установленных на отдельных фарфоровых заводах страны, выполняются следующие операции: подготовка заготовки, формование изделий, оправка и приставка ручек. Каждая операция выполняется агрегатами, рабо-



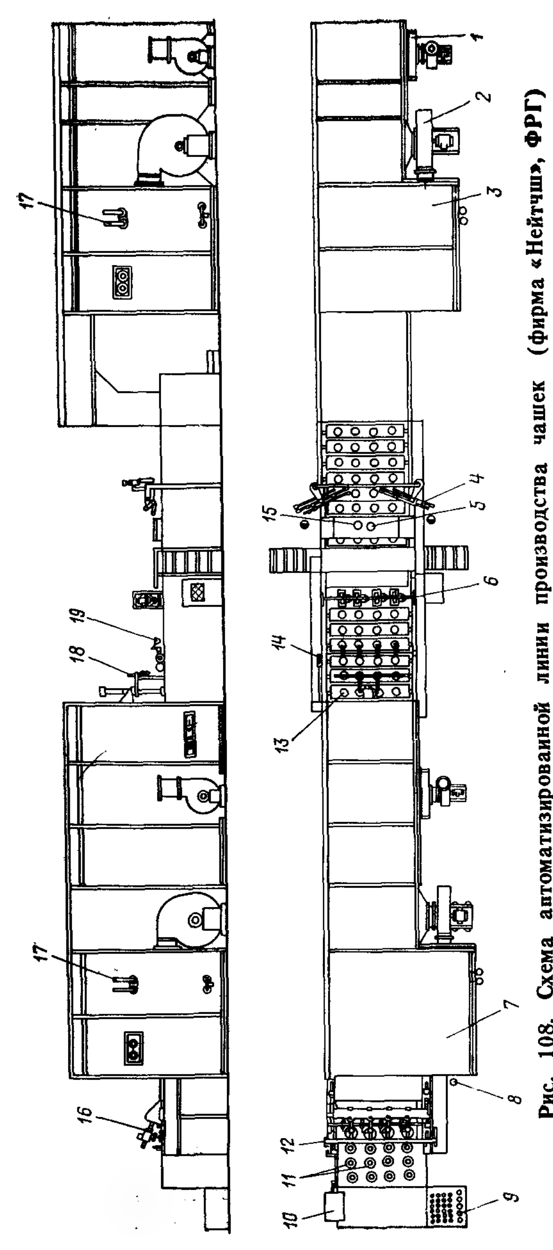


**Рис. 108. Схема автоматизированной линии производства чашек (фирма «Нейтчш», ФРГ)**

*1* — вытяжной вентилятор; *2* — вентиляторы циркуляции воздуха; *3* — сушилка окончательной сушки; *4* — устройство для приставки ручек; *5* — подача сжатого воздуха; *6* — устройство для зачистки края; *7* — сушилка для предварительной сушки; *8* — подключение трубопровода сжатого воздуха; *9* — пульт управления; *10* — сбор отходов массы; *11* — гипсовые формы на позиции закладки заготовки; *12* — транспортер подачи заготовки массы; *13* — горизонтальный полочный конвейер; *14* — отвод загрязненной воды; *15* — подача воды; *16* — формующие головки; *17* — подвод пара; *18* — вакуум-подъемник; *19* — вакуумное устройство

тающими самостоятельно, но синхронно друг с другом. Последовательность выполнения технологических операций на линии показана на рис. 107. Линию обслуживают 3 чел. Ее производительность 1,2 тыс. изделий в 1 ч, потребляемая мощность 5 кВт.

Автоматизированная линия фирмы «Нейтчш» (ФРГ) предназначена для изготовления чашек и блюдец четырех типоразмеров. Производительность линии достигает 20 млн. изделий в год. Конструктивно линия представляет собой комплекс узлов формования, сушки, оправки и приставки ручек (рис. 108).

Узел формования имеет четыре подъемных шпинделя и четыре формующие головки, закрепленные на трубчатой раме, расположенной над конвейером сушилки для предварительной сушки изделий. Во время формования для удержания гипсовых форм в шпиндельных головках поддерживается вакуум 0,06—0,08 МПа.

Подсушенные изделия извлекаются из гипсовых форм подъемником переставителя с резиновыми призмами для чашек и колпачками для блюдец. Кантователь, захватив изделия, поворачивается и устанавливает их на подставки полок горизонтального конвейера, подающего чашки под механизм зачистки краев. Зачистка краев блюдец на линии не производится.

На позиции приставки ручек с двух сторон конвейера изделия приподнимаются подъемными штоками. Каретка с уложенными в зажимы ручками по направляющим перемещается к изделиям. Приблизившись к последним, зажимы с ручками принимают вертикальное положение. Места приставки ручек к изделиям опрыскиваются из пульверизатора жижелем. При дальнейшем движении каретки ручка прижимается к изделию, зажимы раскрываются и каретки возвращаются в исходное положение. В конце горизонтального конвейера операторы снимают изделия и переставляют их на подставки, установленные на полках сушилки для окончательной сушки при температуре 100° С до влажности 1%.

*Вопросы для самопроверки*

1. **Состав твердого фарфора и особенности подготовки пластической массы для формования изделий.**
2. **Характеристика способов изготовления фарфоровых изделий.**
3. **Назначение первого обжига изделий и его особенности.**
4. **Способы глазурования фарфоровых изделий.**



5. **Особенности политого обжига изделий.**
6. **Принципы организации производства изделий на автоматизированных линиях.**

## 2. Производство мягкого фарфора

Отличительная особенность технологии производства изделий из мягкого фарфора — повышенное содержание в массах плавней (карбонатов, сульфатов, фосфоритов, костяной золы, фритты разного состава, поташа, соды, буры и др.), что способствует понижению температуры обжига изделий до 1200—1280° С и обеспечивает высокие показатели по белизне и просвечиваемости. Понижение температуры обжига позволяет расширить цветовую гамму подглазурных красок, сделать декор изделий более разнообразным и ярким. Недостатками изделий из мягкого фарфора являются пониженная примерно вдвое по сравнению с изделиями твердого фарфора механическая прочность, повышенная хрупкость, а также низкая термическая и электрическая прочность. По составу масс изделия мягкого фарфора можно разделить на три основные вида: костяной, зегеровский, фриттовый. Особо выделяется бисквитный фарфор типа париан, каррара. Из мягкого фарфора изготовляют чайные, кофейные сервизы, декоративно-художественные изделия с высокохудожественной росписью, скульптуру.

Производство изделий из мягкого фарфора развито в Англии, США, Японии. В СССР их производят не более 5% общего выпуска фарфоровых изделий.

**Костяной фарфор.** Производство изделий из костяного фарфора в нашей стране организовано на Ленинградском заводе им. М. В. Ломоносова и Минском фарфоровом заводе. Масса костяного фарфора имеет следующий шихтовый состав, %: глинистые материалы 20—45, полевой шпат 8—22, кварц 9—20, костяная зола 20—60.

Производство тонкостенных изделий из костяного фарфора имеет следующие технологические особенности: способ изготовления шликера — прессовый, изделия изготовляют методом литья в гипсовых формах, обычно на двухструйном полуавтомате производительностью 200—300 изделий в 1 ч. Изделия в формах сушат в конвейерной сушилке. Оправка, приставка деталей, досушка изделий производятся на ленточном конвейере.

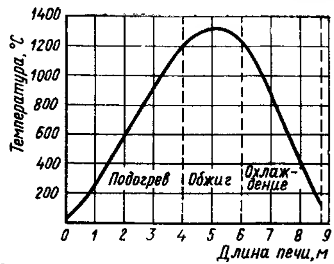



**Рис. 109. Кривая обжига костяного фарфора**

Утельный обжиг изделий осуществляют при температуре 1260—1280° С в щелевых печах на комбинированных (для нескольких размеров чашек) бомзах. Кривая обжига приведена на рис. 109. Глазуруют изделия пульверизацией, употребляя глазурную суспензию влажностью 43—45%.

Политой обжиг изделий, установленных в талькоглиноземистых капселях, производят в щелевых печах при температуре 1120—1180°С. Декорирование и обжиг декорированных изделий производят по обычной технологии.

Вследствие недостаточной механической и термической прочности изделий и малой твердости глазури столовую посуду из костяного фарфора не изготовляют.

**Полевошпатовый (зегеровский) фарфор** весьма разнообразен по составу массы. В состав типичного зегеровского фарфора входят, %: глинистые 25—35, полевой шпат 30—40, кварцевый песок 20—45. Составы севрского (Франция) и мягкого фарфора арита (Япония) похожи на типичный состав зегеровского фарфора. Технология производства зегеровского фарфора сходна с технологией производства твердого фарфора хозяйственного назначения.

**Фриттовый фарфор** отличается от других видов мягкого фарфора тем, что из состава массы исключены природные кварц, полевой шпат и глинистые материалы. Их вводят в виде фритты. Состав массы фриттового фарфора, %: фритта 70—80, мел 15—20, мергель отмученный 5—10.

Фритта состоит из смеси кварцевого песка, полевого шпата и мела. Молекулярная формула фритты

$$\left.\begin{matrix} 0{,}15\ K_2O \\ 0{,}15\ Na_2O \\ 0{,}7\ \ CaO \end{matrix}\right\} \cdot 0{,}07Al_2O_3 \cdot 3{,}5SiO_2 .$$

Масса фриттового фарфора весьма тощая, поэтому в ее состав вводят органические клеющие вещества. Возможно изготовление изделий способом отливки в гипсовых формах или обточки из предварительно заформованных и высушенных заготовок.



Обжигают такие изделия дважды: на утель до спекания при 1230—1250° С и после глазурования при 1150—1180° С. В процессе обжига изделия склонны к деформации. По этой причине для первого обжига изделия устанавливают в капсели на специальных подставках или в кварцевой засыпке.

По внешнему виду изделия после обжига напоминают заглушенное стекло. Поскольку в глазури содержится много $K_2O$ и PbO, то изделия из фриттового фарфора имеют высокий блеск (недостижимый для глазури твердого фарфора), мягкое проявление красок, что придает изделиям, в основном скульптуре, высокие художественные качества. Однако сложность технологии производства, низкая механическая и термическая прочность этих изделий резко ограничивают их выпуск.

**Бисквитный фарфор.** Масса неглазурованного фарфора типа париан, каррара и т. д. содержит 33—36% глинистых материалов, 40—45% кварца, до 24% фритты или корнваллийского камня (пегматит, содержащий плавиковый шпат, полевой шпат и слюду). Состав фритты, %: кварцевый песок 52, полевой шпат 23, пегматит 10, углекислый калий 15. Бисквитный фарфор обжигают один раз при температуре 1250—1300° С и не декорируют. Изделия имеют мягкий матовый блеск и не уступают лучшим сортам мрамора.

*Вопросы для самопроверки*

1. **Общая характеристика изделий мягкого фарфора.**
2. **Особенности производства костяного фарфора.**
3. **Зегеровский фарфор и особенности его производства.**
4. **Фриттовый фарфор и особенности его производства.**
5. **Отличительные особенности изделий из бисквитного фарфора.**

### 3. Производство изделий из низкотемпературного фарфора

Изделия из низкотемпературного фарфора характеризуются повышенной пористостью (0,5—3%), отсутствием просвечиваемости даже в тонком слое. Обычно они покрыты глухими глазурями белого или кремового цвета («под слоновую кость»). Повышенное содержание в массе плавней позволяет обжигать изделия при 1160—1250° С по одному из вариантов, показанных на рис. 110.

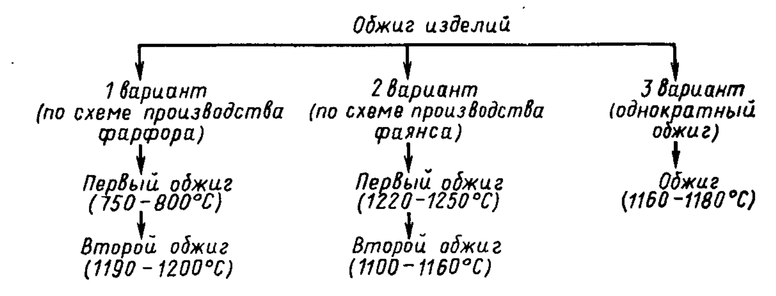



**Рис. 110. Варианты обжига изделий из низкотемпературиого фарфора**

**Рис. 111. Автоматизированная линия Бориславского завода**

*1* — дозировочно-формовочиый узел; *2* — сушилка предварнтельной сушки; *3* — сушилка окоичательной сушки; *4* — пиевматический переставитель тарелок; *5* — автомат зачистки изделий после сушки; *6* — устройство перемещеиия тарелок; *7* — полуавтомат; *8* — транспортер; *9* — кабииа для обдува тарелок; *10* — глазуровочная устаиовка; *11* — транспортер зачистки ножки; *12* — транспортер питаиия; *13* — стопировочные столы; *14* — станки для зачистки ножки; *15* — столы для сортировки тарелок; *16* — двенадцатикаиальиая роликовая печь

К этой группе относят также изделия из полуфарфора, имеющего водопоглощение от 0,5 до 5%.

В производстве полуфарфоровых изделий, а также изделий из низкотемпературного фарфора используют те же сырьевые материалы, что и в производстве твердого фарфора. Обжигают изделия однократно при 1230—1280° С с предварительным глазурованием по высушенному черепку или двукратно по схеме для производства фаянса: первый обжиг при 1230—1280°С, второй — при 1100—1120° С.

**Производство изделий на автоматизированных линиях.** Производство изделий (тарелок) из низкоспекающихся масс для предприятий общественного питания осуществляют на автоматизированных линиях (рис. 111).



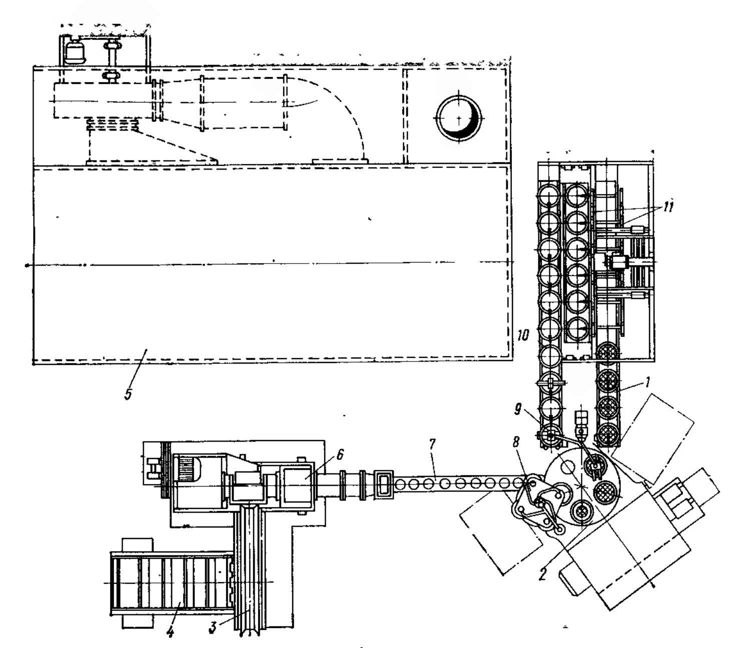



**Рис. 112. Дозировочно-формовочный узел автоматизированной линии**

Компоновка дозировочно-формовочного узла автоматизированной линии приведена на рис. 112. Заготовки массы на поддонах конвейером питания *4* и далее конвейером *3* подают к дозирующему вакуум-прессу *6*. На выходе массы из мундштука дозирующего вакуум-пресса расположен нож с пневмоприводом для автоматического отрезания пластов требуемой толщины. Пласты диаметром 120 и 150 мм для тарелок соответственно диаметром 200 и 240 мм конвейером *7* перемещаются к устройству *8* разводки пласта формовочной машины *2* типа «Роллер». Формование тарелки осуществляется при вращении нагретой до 110—120° С формующей головки и шпинделя в одну сторону с различными скоростями. Сформованная тарелка вместе с формой поднимается устройством перемещения гипсовых форм *9* и переставляется на ленточный конвейер питания *10* сушилки *5*. Одновременно устройством перемещения гипсовых форм с ленточного конвейера питания *1* формовочной машины *2* в гнездо позиции стола машины типа «Роллер» переставляется пустая гипсовая форма. При полной загрузке конвейера *10* двухрядное

грабельное устройство *11* загрузки сушилки сталкивает шесть форм с транспортера на полку сушилки, одновременно выгружая с нее вторым рядом зубцов пустые формы на освободившийся конвейер питания *1* формовочной машины.

Тарелки сушат в две стадии: в сушилке предварительной сушки до влажности 7—11% на формах и в сушилке окончательной сушки до влажности ∠1% уже без форм на ножке. Сушильная установка работает на газе. На выходе из первой сушилки на донышко тарелок, лежащих на форме, вручную одним штампом наносят марку завода и виньетку «Общепит». Затем тарелки вручную снимают с форм и ставят на ножку на полку сушилки для окончательной сушки. Во второй сушилке теплоноситель, нагретый до 110—120° С, подается на тарелки, установленные на полках, сверху и снизу. На выходе со второй сушилки тарелки автоматически пневматическим устройством снимаются с полки и устанавливаются на шпиндели автомата зачистки (замывки). Замытые тарелки направляются по конвейеру на устройство для парафинирования ножки.

Во время перемещения ножка тарелки скользит по пластмассовому ролику, погруженному в расплав парафина, постоянную температуру которого поддерживают встроенным термостатом. Глазуруют тарелки методом полива. Благодаря постоянному вращению тарелок, которое продолжается и после нанесения глазури, уменьшается возможность образования натеков.

Обжиг тарелок в щелевой печи фирмы «Сити» (Италия) осуществляется на огнеупорных лещадках, движущихся по каналу печи на роликах. Температура обжига 1160—1180° С.

Обожженные тарелки выгружаются на стопировочный стол, а затем на станок для шлифовки ножки кругами из искусственных алмазов. Со станка тарелки снимаются вручную и после сортировки на столах передаются на склад готовой продукции.

Организация производства тарелок на автоматизированных линиях позволила сократить количество производственных операций, выполняемых вручную на участках формование — политой обжиг до 4 ч, снизить себестоимость глубокой тарелки диаметром 240 мм в 2 раза, повысить производительность труда в 3,5 раза.



*Вопросы для самопроверки*

1. **Отличительные особенности изделий из полуфарфора и низкотемпературного фарфора.**
2. **Особенности обжига изделий из полуфарфора и низкотемпературного фарфора.**
3. **Производство тарелок из никотемпературного фарфора на автоматизированных лиииях.**

## 4. Производство тонкокаменных изделий

Плотный, спекшийся (но не остеклованный), непроницаемый для воды, непросвечивающийся в тонком слое черепок тонкокаменных изделий имеет раковистый излом с матовым блеском и твердость камня. Эта твердость в сочетании с цветом (серый, кремовый) была, по-видимому, причиной того, что эти изделия назвали тонкокаменными (каменно-керамическими).

Тонкокаменные изделия условно разделяют на *грубые* и *тонкие*. Изделия грубые — трубы канализационные, клинкер, химически устойчивые кирпичи, плитки — имеют в изломе менее однородное строение в отличие от излома черепка посуды, аппаратуры и других изделий.

Тонкокаменная масса имеет следующий шихтовый состав, %: каолин 15—20, глина огнеупорная 22—25, пегматит 30—45, кварцевый песок 12—25.

Для глазурования тонкокаменных изделий применяют безборные, бессвинцовые фриттованные и сырые глазури без кальцинированной соды, а также глазури на основе фритт из базальта или андезита в качестве основного компонента. Тонкое измельчение компонентов осуществляют в шаровых мельницах. Соотношение материалов, шаров и воды, загружаемых в шаровую мельницу, 1:(1—1,5):1.

Цветные ангобы приготовляют в шаровых мельницах путем смешения массы ангоба с красителями. Разжижается ангоб так же, как и масса для приготовления шликера, электролитами — 0,3% жидкого стекла и 0,2% кальцинированной соды. Если ангоб приготовлен смешением шликера и подглазурной краски, то электролиты в его состав не добавляют. Плотность ангобной суспензии 1,56—1,58 г/см$^3$. После размола в шаровой мельнице ангоб пропускают через сито № 0112 (2530 отв/см$^2$). Приготовленный ангоб по тонине помола должен со-

ответствовать помолу основной массы — остаток на сите № 006 не должен превышать 0,8—1%.

Шликер готовят, загружая материалы в шаровую мельницу. Сначала отощающие с добавкой 3—5% часов-ярской глины, затем заливают необходимое количество воды и электролиты (0,1—0,2% соды и 0,5% жидкого стекла). Очищают шликер на сите № 015 (1600 отв/см$^2$), затем его сливают в мешалку, из которой он подается в цех к рабочим местам. Шликер для литья изделий должен иметь влажность 32—35%, число загустеваемости 1,3—2,3 (по вискозиметру Энглера) и скорость истечения 11—13 с.

Формование изделий осуществляют отливкой в гипсовых формах сливным способом и реже пластическим формованием (блюда). Влажность пластичной массы 24—25%, число пластичности 15—16.

Сушат изделия в две стадии: сначала в формах до влажности 16—18% и окончательно до влажности 2—3%.

Изделия, покрываемые цветными ангобами, после выемки из форм подвергают оправке мокрым способом. Прочность высушенных изделий при изгибе 3,5—4 МПа.

Декорирование изделий цветными ангобами производят вручную, отводкой кистью широкой ленты, обливанием, окунанием, послойным нанесением в гипсовых формах. Ангобированию подвергаются подвяленные литые изделия, оправленные от заусениц, неровностей и шероховатостей поверхности, швов от гипсовых форм, а также очищенные от пыли. Приготовленные цветные ангобы перед употреблением процеживают через сито № 056 (160 отв/см$^2$). Окунанием или обливанием, т. е. сплошным крытьем, ангобируют только подвяленные изделия влажностью 14—16%. При одноцветном ангобировании один и тот же ангоб накладывается на изделие снаружи и внутри окунанием. При двухцветном покрытии сначала внутренняя сторона изделий покрывается ангобом одного цвета, а затем наружная — другого.

При нанесении ангоба последовательной послойной отливкой изделий из масс различных цветов в гипсовые формы заливают сначала ангоб, который по истечении времени (не более 5 мин), необходимого для образования слоя толщиной не более 1 мм, сливают. Затем, заливая в те же формы основную массу, набирают основную толщину черепка, достигая соединения его с



тонким фактурным слоем первоначально нанесенного ангоба. После набора массы необходимой толщины избыток шликера сливается, а отлитое изделие последовательно подвергается всем стадиям обработки, производимым в процессе формования изделий литьем. Плотность ангобной суспензии при этом способе отливки должна соответствовать плотности основного шликера.

Рисунок цветным ангобом на поверхности изделия выполняют следующим образом: на рабочую поверхность гипсовой формы рисунок наносят при помощи кисти или резинового баллона, затем заливают основной шликер, избыток шликера сливают после набора необходимой толщины черепка.

Утельному обжигу подвергают изделия влажностью не более 4%, не имеющие дефектов. Обожженные изделия сортируют по пористости и внешним дефектам (пережог, недожог, трещины и т. д.). Перед глазурованием прозрачной или цветной глазурью изделия чистят и обдувают. Глазуруют изделия как сырой, так и фриттованной глазурью. Влажность глазурной суспензии 45—50%, плотность 1,34—1,4 г/см$^3$. Цветные глазури получают, смешивая подглазурные красители (1—15%) и бесцветную глазурь в шаровых мельницах в течение 1—2 ч.

Глазуруют изделия окунанием, поливом, пульверизацией, припудриванием и т. д. Глазурованные изделия подвергают замывке на войлочной и пористой резине. Дефекты глазурования исправляют сухой глазурью.

Проверенные изделия передают на зачистку ножки, замывку и оправку края и далее на политой обжиг.

Политой обжиг изделий осуществляют в окислительной среде с соблюдением периодов: начального до температуры 850° С — 3 ч; промежуточной выдержки в пределах от 850—960 до 1020—1060° С — в течение 3 ч; созревания черепка от 1060 до 1120—1140° С — 4 ч; выдержки при 1120—1140° С — 3 ч. Изделия охлаждают в три периода: от конечной температуры обжига до 700—650° С со скоростью 100—150° С в 1 ч; от 700—650° С до 500° С со скоростью 75—100° С в 1 ч; от 500° С до температуры выгрузки 60—40° С со скоростью 40—50° С в 1 ч. Обожженные изделия обрабатывают: шлифуют, полируют края, ножки, а затем сортируют путем внешнего осмотра, проверяя размер деформаций согласно техническим условиям.

При комплектовании сервизов и наборов подбираются однотонные изделия одного сорта с наименьшим количеством дефектов. Изделия должны иметь ровный розлив глазури, блеск, однотонный цвет черепка, водопоглощение 1—3%. Цек не допускается.

*Вопросы для самопроверки*

1. **Охарактеризуйте особенности строения черепка тонкокаменных изделий и их назначение.**
2. **Особенности производства тонкокаменных изделий бытового назначении.**
3. **Способы декорирования тонкокаменной посуды.**

## 5. Производство санитарно-строительных изделий

Санитарно-строительные изделия (унитазы, биде, умывальные столы и т. д.) изготовляют нз фарфоровых, полуфарфоровых и фаянсовых масс методом литья в гипсовых формах с последующими сушкой н обжигом. Изделия относят к типу тонкокерамических, имеющих плотный (фарфоровые и полуфарфоровые изделия) или пористый (фаянсовые) черепок, покрыты прозрачной или глухой глазурью, белой или цветной. Физико-механические свойства изделий приведены в табл. 16.

Таблица 16 **ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА САНИТАРНО-СТРОИТЕЛЬНЫХ ИЗДЕЛИЙ**

| Показатели | Фарфор | Полуфарфор | Фаянс | |
|---|---|---|---|---|
| | | | твердый | шамотированный (файертон) |
| Водопоглощение | 0,2—0,5 | Не более 5 | Не более 10—12 | 12—18 |
| Средняя плотность, г/см³ | 2,25—2,35 | 2—2,2 | 1,92—1,96 | 1,8—1,9 |
| Предел прочности, МПа: | | | | |
| при сжатии | 400—500 | 180—250 | 90—100 | 15—30 |
| при изгибе | 70—80 | 38—45 | 15—30 | 7—10 |
| Модуль упругости, МПа | 500—600 | 300—400 | 220—240 | — |
| Средний коэффициент термического расширения, $1\cdot10^{-6}\cdot1/°C$, в интервале температур 20—760° С | 5,5—6,5 | 4,5—5,3 | 4,8—6 | 5,5—5,6 |



Таблица 17. **СОСТАВЫ МАСС (% ПО СУХОЙ МАССЕ)**

| Материалы | Массы | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | фарфоровые | | полуфарфоровые | | фаянсовые | |
| | № 1 | № 2 | № 1 | № 2 | № 1 | № 2 |
| Каолин просяновский мокрого обогащения | 14 | 15 | 2 | 30 | — | 33 |
| Каолин глуховецкий мокрого обогащення | 13 | 15 | 8 | — | 31 | — |
| Глина новорайская | 17 | 10 | 10 | 10 | 12,5 | 12 |
| Глина веселовская | 5 | 10 | 11 | 10 | 12 | 11 |
| Полевой шпат (пегматит) | 24 | 18 | 12 | 12 | 4 | 2 |
| Песок кварцевый | 21 | 22 | 26 | 27 | 9,5 | 26 |
| Бой обожженный | 6 | 10 | 11 | 11 | 11 | 16 |
| Сверх 100% | | | | | | |
| Сода кальцнннрованная | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 |
| Жидкое стекло | 0,2 | 0,2 | 0,2 | 0,2 | 0,08 | 0,16—0,5 |
| Гидрооксид барня | — | — | — | — | 0,03 | 0,1 |
| Кобальт сернокнслый | — | — | — | 0,02 | — | 0,02 |
| Известь | — | — | — | — | — | 0,015 |

Изделия санитарно-строительного назначения должны иметь заданную форму без выбоин, трещин и других дефектов, быть хорошо обожженными, издавать при ударе чистый звук, иметь глазурный покров хорошего розлива. Белизна изделий должна быть не менее 65% для 1-го и 2-го сортов и не менее 60% для 3-го сорта изделий.

Составы масс приведены в табл. 17. Масса фарфоровая № 1 пригодна для конвейерной и стендовой отливки, масса № 2 является типовой для заводов, работающих на традиционном сырье.

Ввод в многокомпонентную массу двух-трех видов глин и не менее двух видов каолина повышает стабильность свойств масс и изделий. Расход сырьевых материалов на 1 т изделий 1,5—1,54 т.

**Подготовка масс** в производстве санитарно-строи-

Таблица 18. ХАРАКТЕРИСТИКА ЛИТЕЙНЫХ ШЛИКЕРОВ

| Показатели | Фаянсовый | | Полуфарфоровый | Фарфоровый |
|---|---|---|---|---|
| | обычный | шамотированный | | |
| Остаток на сите № 006 (10 000 отв/см²), % | 8—14 | | 5—8 | 1,8—2,2 |
| Влажность, % | 29—30 | 27—28 | 30—31 | 30—32,5 |
| Время истечения, с: | | | | |
| через 30 с | 12—15 | 10—12 | 12—15 | 6—14 |
| через 30 мин | 26—28 | 17—22 | 23—28 | 15—40 |
| Плотность, г/см³ | 1,76 | 1,74—2,76 | 1,76 | 1,76 |
| Коэффициент загустеваемости | 2—2,5 | 3,4—3,7 | 2—2,5 | 2—3,5 |
| Набор массы в форме через 2 ч, мм | 7,5—8 | — | 6—9 | 8—9,5 |

тельных изделий сводится к получению литьевых шликеров. Их приготовляют двумя способами: прессовым и беспрессовым. Характеризуются они данными, приведенными в табл. 18.

Тонкость помола шликера регулируют с таким расчетом, чтобы при отливке изделий сливным способом содержание зерен меньше 1 мкм в фарфоровых массах было 37—38%, в полуфарфоровых 28—32 и фаянсовых 28—37%. Для масс с большим содержанием глинистых при стендовом литье зерен размером меньше 1 мкм должно быть 36—40%. Величина удельной поверхности составляет 20—22 м²/г для масс, используемых при конвейерном способе отливки и 25—27 м²/г — при стендовом литье. При большем содержании фракций размером менее 1 мкм время набора массы увеличивается. Быстрофильтрующийся шликер (набор массы в гипсовой форме за 6,5—8 ч) имеет текучесть (через 30 с) 8—10 с, коэффициент загустеваемости 1,9—2,1 при влажности 31,2—31,6% и остаток на сите № 006 (10 000 отв/см²) в пределах 10—12%. Его получают частичной заменой в составе массы высокопластичных глин на шамот, получаемый из этих глин предварительным обжигом при 1000° С, а также вводом гидроксида бария.

Чистые отходы массы из литейного цеха распускают в отдельной мешалке и по мере готовности добавляют



в сборную мешалку к свежеприготовленному шликеру в количестве от 10 до 30% его объема.

До подачи шликера на отливку изделий он должен 2—3 сут выстоять в мешалке при периодическом перемешивании. Корректируют литейные свойства шликера добавкой воды и жидкого стекла за 2 ч до подачи в литейный цех.

Глазури для санитарно-строительных изделий должны обладать химической стойкостью и твердостью не ниже 6 единиц по шкале Мооса. Применяют как белые, так и цветные глазури, прозрачные и глухие.

Нефриттованные полевошпатовые глазури используют для глазурования изделий из полуфарфоровых и фарфоровых масс. Фриттованными глазурями покрывают изделия из фаянсовых масс. Ангобы используют для покрытия крупноразмерных изделий (ванны) из шамотированных фаянсовых масс, а также для скрытия нежелательной окраски черепка изделий.

Для повышения белизны глазури в ее состав вводят в процессе измельчения в шаровой мельнице подсинивающие добавки — сульфат или хлорид кобальта в количестве 0,0001—0,002%.

Глазурную суспензию изготовляют совместным помолом всех компонентов в шаровой мельнице при соотношении материала и мелющих тел 1:1—2 и влажности 38—45%. Продолжительность помола 7—7,5 ч. Готовность суспензии определяют по остатку на сите № 006 (10 000 отв/см²) не более 0,05—0,3%. Общим требованием к глазури при однократном обжиге изделий является достаточная ее вязкость, обеспечивающая качественное покрытие поверхности высушенных изделий.

Ангоб должен иметь хорошее сцепление с черепком, соответствовать ему по коэффициенту термического расширения и ложиться на поверхность изделий гладким, ровным слоем. Тонкость помола ангоба характеризуется остатком на сите № 006 2,8—3%, влажность его должна быть 35—37%, плотность 1,6—1,64 г/см³. Ангоб приготовляют по технологии изготовления глазури.

Формуют изделия методом шликерного литья в гипсовых формах. Разработан также метод гидростатического прессования изделий.

Отливка изделий из обычного фарфорового шликера под давлением 0,2 МПа сокращает время набора череп-

ка в 2 раза. Эффективное воздействие на литье изделий оказывает также вибрация.

Отливают изделия в отдельных гипсовых формах, на стендах в формах, собранных в батареи, и на конвейере. В зависимости от вида изделий шликерное литье выполняется наливным, сливным и комбинированным способами.

Наливным способом отливают тарельчатые унитазы, унитазы «Компакт» и другие толстостенные изделия. Этот способ применяют и при батарейной отливке изделий. Гипсовые формы собирают в батареи по 16—20 шт. с наклоном 10—15° в сторону сливного отверстия. Заливают формы шликером через воронки до полного их заполнения. Через 1—3 ч после набора формой стенки изделия требуемой толщины излишек шликера сливают, изделия в формах выдерживают 7—16 ч для закрепления черепка, после чего их освобождают от форм. Разъем форм осуществляют при влажности изделий 20—22,5%. Через 5—7 отливок гипсовые формы поступают на сушку для снижения влажности до 5—7%. Наливным способом также отливают изделия из шамотированных фаянсовых масс с толщиной стенки 25—45 мм (ванны, мойки). Наливной способ обеспечивает получение изделий с заданной толщиной стенок, однако он требует применения разборных форм сложной конструкции.

Сливным способом отливают умывальные столы и другие тонкостенные изделия. При сливном способе заполненные шликером формы выдерживают 1—3 ч до набора требуемой толщины стенки изделия 9—11 мм. После набора стенки изделия излишек шликера сливается в чистые отстойники, изделие выдерживается в форме 6—16 ч для повышения прочности и снижения влажности до 22—24%, после чего вынимается из формы. При сливном способе происходит односторонний набор стенки изделия, он наиболее прост, но не обеспечивает постоянной толщины стенки изделий. Сливной способ применяется при изготовлении изделий на конвейере.

Комбинированным способом отливают умывальные столы (в зависимости от типа): одни части изделия отливают наливным, другие — сливным способом. Соединяют части при оправке и компоновке изделий.

Изделия, освобожденные из гипсовых форм, независимо от способа отливки, проходят первичную оправку,



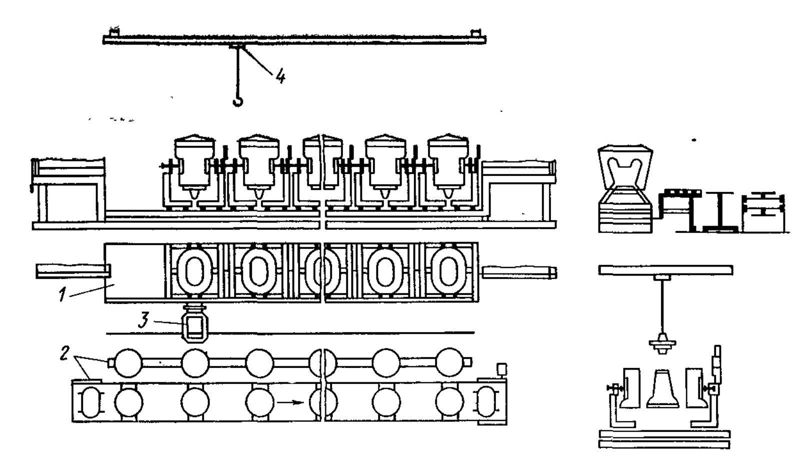



**Рис. 113. Схема механизированного стенда для литья и подвялки унитазов**

которая заключается в обрезке следов швов формы, обработке поверхностей и отверстий, приставке отдельно формуемых частей; нарезке резьбы (в унитазах) и др. Далее изделия подвяливают до влажности 14—18%, вторично оправляют и направляют на сушку или дополнительное подвяливание для снижения влажности до 12—14%.

Длительность подвяливания фарфоровых унитазов на рольганговом конвейере 3,5—4 ч при температуре теплоносителя 38—42° С, умывальных столов на монорельсе при температуре 25±3° С — 24 ч. Обычные стендовые способы отливки изделий требуют больших производственных площадей, так как съем изделий с 1 м² площади стенда почти в 2 раза ниже, чем при отливке изделий на конвейере, связаны с тяжелым физическим трудом, не позволяют автоматизировать процессы отливки изделий. С целью повышения эффективности стендовой отливки в НИИстройкерамики разработаны механизированные стенды, в которых сочетаются достоинства стендовой отливки (организация труда) с конвейерной (высокий уровень механизации и автоматизации).

Механизированный стенд (рис. 113) включает участок литья *1* и участок для подвялки и оправки изделий *2*, приемо-передаточную каретку *3*, предназначенную для извлечения отлитых изделий из форм и передачи их на участок оправки и подвялки, устройства *4* для

съема и установки постамента гипсовой формы, системы заливки и слива шликера из литейных форм, теплотехническую систему для обеспечения работы в двухсменном режиме.

Опыт работы такого стенда подтвердил возможность повышения производительности труда в 2 раза по сравнению с производительностью на обычных стендах.

На конвейерах различных типов в настоящее время выпускают унитазы (до 70%) и умывальные столы (30%). Производительность литейно-подвялочного конвейера СМ-462А для производства умывальных столов комбинированным способом 220—240 тыс. изделий в год. Его обслуживает восемь рабочих. Общая продолжительность отливки изделий 6,5—8 ч. Литейно-подвялочный конвейер СМ-461А для отливки унитазов производительностью 200—220 тыс. изделий в год обслуживает 10 чел.

По разработкам НИИстройкерамики на отдельных заводах были опробованы установки для изготовления изделий способом гидростатического прессования. При этом способе используют массы того же состава, что и при литье. Порошок влажностью 8—12% получают в распылительной сушилке. Прессуют изделия в металлических формах с резиновыми оболочками, через которые давление воды 16—22 МПа передается на порошок, засыпанный в пространство между резиновой оболочкой и формой. Производительность установки 200 шт. изделий в смену. Изделия по качеству не уступают изделиям, изготовленным способом литья.

Дефекты литья аналогичны описанным в гл. VI.

Сушку изделий осуществляют в камерных, туннельных и конвейерных сушилках, в которые изделия поступают после подвяливания до влажности менее 18% и обработки. Общая продолжительность сушки в камерных сушилках 30—40 ч для изделий из фаянсовых масс и до 24 ч для изделий из полуфарфоровых масс. Остаточная влажность изделий после сушки 2—1,5%. Продолжительность сушки в туннельных сушилках 10—24 ч. Применение быстрофильтрующихся масс сокращает срок сушки в два раза.

Конвейерные (кареточные) сушилки Гипростройматериалов — полуавтоматические установки СУ-1 для сушки унитазов и СУ-2 для сушки умывальных столов — устанавливают в единый поток с конвейерами СМ-461А



и СМ-462А. Ритм толкания кареток с изделиями в сушилке синхронизирован с ритмом работы литейно-подвялочного конвейера. Теплоносителем служит горячий воздух, поступающий от калориферных установок. Продолжительность сушки 18 ч. Производительность сушилки до 20 изделий в 1 ч, удельный расход топлива на 1 кг испаренной влаги около 8,37 МДж, часовой расход пара 170 кг. Прочность высушенных изделий из фарфоровых масс 3—4 МПа.

Глазуруют изделия окунанием, пульверизацией, поливом и комбинированным способом. Реже глазурь наносят кистью (на ванны, мойки и др.).

Изделия перед глазурованием очищают от пыли, обтирают влажной губкой, места изгибов смачиванием керосином проверяют на наличие трещин. Места, не подлежащие глазурованию — нижняя плоскость постамента, нарезка сливной трубы, торец штуцера унитазов, торец сливного отверстия и задний борт умывальников, — покрывают составом из равных частей парафина и керосина. Перед глазурованием на изделия наносят подглазурной краской знак заводской марки.

Для глазурования изделий используют смесь из 50% свежеприготовленной и 50% глазури, возвращенной из глазуровочных чанов. Толщина глазурного покрова 0,4—0,5 мм.

При глазуровании цветными глазурями толщина глазурного покрова должна быть несколько больше, чем при глазуровании прозрачными и глухими (белыми) глазурями. Расход глазури на 1 т изделия 50 кг.

После глазурования влажность изделия повышается до 3,5—5%, поэтому их досушивают в конвейерной сушилке до влажности 1,5—2,5% и направляют на обжиг.

Изделия из шамотированных фаянсовых масс перед глазурованием покрывают ангобом, что необходимо для скрытия шероховатостей поверхности и темной окраски черепка изделий. Ангобируют изделия в сыром виде или после первого обжига. Ангоб наносят на изделие кистью в 3—4 приема с промежутками в 2—3 ч между покрытиями или пульверизацией. Толщина слоя ангоба 0,5—1,5 мм. Ангобированные изделия подсушиваются в течение 15—20 ч. Подсушенные крупногабаритные изделия из шамотированных масс глазуруют кистью 3—4 раза или пульверизацией, используя сырую полево-

шпатовую глазурь, вторично подсушивают и направляют в обжиг.

Обжигают санитарно-строительные изделия в основном один раз при температурах, определяемых составом масс: фаянсовые при 1160—1280° С, шамотированные фаянсовые при 1270—1280° С, полуфарфоровые при 1230—1250°, фарфоровые при 1170—1280° С.

Наиболее широко для обжига изделий используют туннельные печи открытого пламени конструкции Гипростройматериалов длиной 66,5; 88; 100; 107 и 112 м или конструкции Гипростекло длиной 106 м и др.

Обжиг изделий на этажерках вместо обжига в капселях повышает емкость вагонетки в 1,5 раза, снижает расход огнеупорного припаса в 5,5—6 раз и нагрузку на вагонетку почти на 70%, сокращает длительность общего цикла обжига на 15—20% (до 22—25 ч). Плотность садки изделий на этажерки вагонетки 80—85 кг/м$^3$. Оборачиваемость этажерного припаса 70—90 циклов.

В щелевых печах продолжительность скоростного обжига может быть снижена до 2—5 ч по сравнению с 22—25 ч в туннельных печах. Съем изделий с 1 м$^3$ рабочего канала туннельной печи в месяц до 2400 кг в пересчете на условный ассортимент. Расход условного топлива около 0,62—1,33 т на 1 т обожженных изделий.

В процессе обжига на изделиях возможно образование дефектов, в основном глазури: наколы, мушка, цек, особенно на фаянсовых изделиях, чешуйчатость, деформация, трещины и др.

Сортируют изделия на три сорта. Изделия, имеющие дефекты, поступают на зачистку. Некоторые из них после устранения дефектов направляют на повторный обжиг. Качественные изделия поступают на участок монтажа арматуры. Далее изделия упаковывают в щитковую тару и направляют на склад готовой продукции.

*Вопросы для самопроверки*

1. **Типы санитарно-строительных изделий и требования к ним.**
2. **Сырьевые материалы и особенности подготовки масс.**
3. **Способы изготовления санитарно-строительных изделий.**
4. **Сушка и глазурование санитарно-строительных изделий.**
5. **Обжиг санитарно-строительных изделий и его особенности.**



## 6. Производство глазурованных облицовочных плиток

Облицовочные плитки представляют собой изделия, изготовленные из фаянсовых масс, обожженные и покрытые с лицевой стороны прозрачной или глухой глазурью. По форме плитки бывают квадратные, прямоугольные и фасонные (рис. 114). В соответствии с ГОСТ 6141—82 выпускают 28 типов плиток, не считая встроенных и навесных деталей. Предел прочности плитки при изломе 14—30 МПа, при сжатии 98—128 МПа. Лицевая поверхность плиток должна быть гладкой, плоской и равномерно покрытой глазурью — блестящей или матовой, глухой или прозрачной, одного цвета или многоцветной. Кроме плиток с гладкой поверхностью бывают плитки с рельефной, офактуренной и пирамидальной поверхностью.

Сырьем для фаянсовых облицовочных плиток являются светложгущиеся огнеупорные глины и каолины — веселовская (марки ДВ-1 и ДВ-0), латненская (марки ЛТ-2), черкасский бентонит, глуховецкий каолин мокрого обогащения или просяновский каолин сухого обогащения, а также положский, новоселицкий, владимировский и другие каолины. В качестве отощающих компонентов в массу вводят кварцевый песок, политой и утельный бой изделий, обожженный каолин, бой огнеупорного припаса, пирофиллит и др.

Масса плиток содержит около 50% глинистых материалов (каолин, глина, бентонит), 10—25% кварцевого песка и до 35% боя изделий. При скоростном обжиге плиток ввод в массу обычных плавней — полевого шпата, пегматита, талька — неэффективен из-за малого времени протекания процессов при пониженных температурах обжига. Поэтому в качестве плавней вводят нефелин-сиенит, перлит, шлаки, мел, бой стекла, «эрклез» и др. Комплексный ввод плавней, содержащих щелочи (перлит, нефелин-сиенит) и щелочноземельные оксиды (мел, тальк, магнезит, металлургические шлаки и др.), позволяет снизить общее содержание плавней в массе на 10—15% при пониженных температурах обжига. Введение бентонита позволяет уменьшить количество глинистых компонентов на 3—15% или полностью заменить их.

Составы масс для плиток, обжигаемых по скорост-

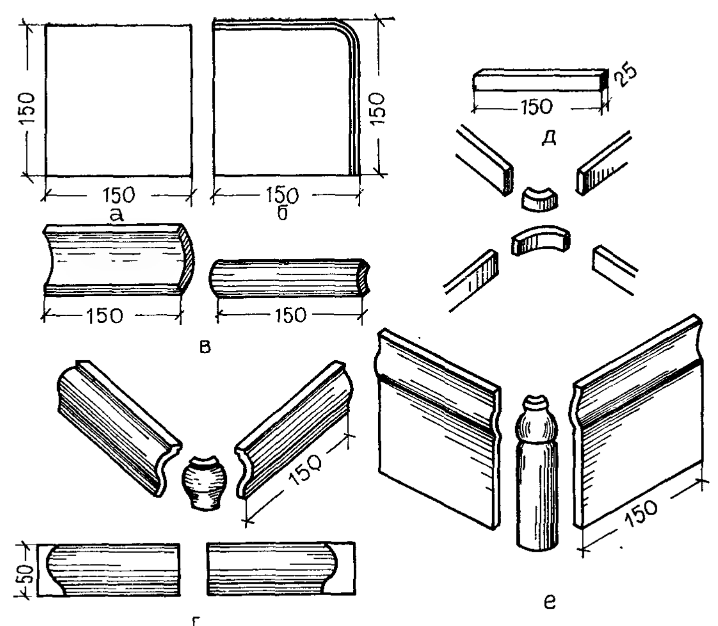



**Рис. 114. Облицовочные плитки**

*а* — квадратная; *б* — квадратная с завалом двух смежных сторон; *в* — для наружных и внутренних углов; *г* — пояски; *д* — карнизные детали; *е* — детали цоколя

ным режимам в щелевых печах, отличаются пониженным содержанием пластичных компонентов, низкой воздушной и огневой усадкой, малочувствительностью к резкому повышению температуры.

Независимо от способа производства приготовляют пресс-порошки мокрым (шликерным) и реже сухим способами. Более прогрессивна технология шликерной подготовки масс с обезвоживанием суспензии в распылительных сушилках.

Роспуск глинистых материалов при раздельном помоле осуществляют в вертикальных или горизонтальных мешалках, установках непрерывного действия и реже в шаровых мельницах. Воду добавляют в количестве, необходимом для получения суспензии влажностью 65—72%, обеспечивающей быстрый роспуск глинистых материалов до размера частиц 3—10 мкм. Ускорению роспуска также способствует подогрев суспензии до 45—55° С, для чего в мешалку подают пар под давлением



0,15—0,25 МПа, а в массу добавляют ПАВ — до 1% ССБ, кубовых и дрожжевых остатков, триполифосфата натрия. Продолжительность роспуска глинистых материалов в шаровой мельнице от 40—50 мин до 1,5—2,5 ч при соотношении массы, мелющих тел и воды 1:0,5:1,5. Готовность глинистой суспензии определяют, пропуская ее без остатка через вибросито № 01 с латунной сеткой (3460 отв/см²).

Тонкий помол каменистых материалов осуществляют в шаровых мельницах мокрого помола.

Обезвоживают суспензию в распылительных сушилках, применение которых позволяет сократить с 10 до 3 количество производственных операций при подготовке пресс-порошка, а время приготовления порошка с 8—12 ч до 2—3 мин.

Производительность распылительных сушилок от 1,5 до 12 т порошка в 1 ч. Температура порошка на выходе из сушилки 50—60° С, влажность 6—8,5%. Расход условного топлива 3—3,3 МДж на 1 кг испаренной влаги, электроэнергии 10—20 кВт·ч на 1 т порошка при конечной влажности его 6%.

Использование порошка, приготовленного в распылительных сушилках, повышает выход плиток 1-го сорта на 4—5%. Эксплуатационные затраты на 1 т порошка, полученного в распылительной сушилке, в 2 раза ниже, чем при обезвоживании в фильтр-прессах. Расход массы 11—14 кг на 1 м² плиток.

Глазурная суспензия независимо от состава и способа приготовления должна удовлетворять требованиям, определяемым характером производства, способом нанесения и состоянием поверхности глазуруемого изделия. Для декорирования плиток используют цветные прозрачные или глухие глазури. Расход красителей 5—10% массы глазури.

В связи с тем, что некоторые компоненты глазури (бура, сода и др.) растворимы в воде, их предварительно фриттуют в ванных, вращающихся или конверторных печах при 1350—1400° С. Продолжительность плавки 1—10 ч.

Сырые глазури используют для глазурования встроенных деталей, обжигаемых один раз. Температура розлива большинства глазурей для плиток 980—1180° С.

Время совместного помола фритты, глинистых материалов (5—7%) и соответствующих добавок в шаровой

мельнице 24—30 ч. При сливе глазурную суспензию подвергают ситовой и магнитной сепарации.

При глазуровании высушенных при однократном обжиге изделий плотность глазури повышают до 1,55—1,64 г/см³ за счет увеличения содержания глинистых материалов до 8—15%. Глазурная суспензия, подвергаемая скоростному обжигу, требует корректировки состава для повышения ее легкоплавкости и снижения вязкости путем замены глинистых материалов, добавляемых в глазурную суспензию для предотвращения ее расслоения, на КМЦ и поваренную соль. Это также уменьшает возможность образования наколов на глазури.

Независимо от состава и способа приготовления тонина помола глазури определяется остатком на сите № 006 (10 000 отв/см²) от 0,05 до 0,1%. Хранят глазурную суспензию в бассейне с пропеллерной мешалкой. Влажность суспензии должна быть 40—45%, плотность 1,37—1,64 г/см³. При подаче глазури в расходные мешалки ее предварительно подвергают двухступенчатой магнитной сепарации на ферро-фильтрах и магнитных плитах, уложенных в лотки, а также процеживают через вибросито № 0071 с латунной сеткой (6400 отв/см²).

Режим прессования плиток зависит не только от свойств пресс-порошка, но и от условий прессования.

Прессуют плитки на колено-рычажных прессах СМ-329, типа «Робот», К/РК$_п$-125, «Велико» KPV-160 и других, в которых давление и засыпка форм порошком, выдача плиток и зачистка их регулируются автоматически.

На прессе К/РК$_п$-125 одновременно прессуют по две плитки размером 150×150 мм. Число прессований в минуту 12—22. Плитки прессуют лицевой стороной вниз, что исключает образование заусениц по ее краям. Если в комплект пресса входит сдвоенная зачистная машина, то плитки прессуют лицевой стороной вверх. Прессование плиток происходит в два приема. Первое прессование давлением от 2 до 2,5 МПа обеспечивает предварительное уплотнение массы плитки. Затем производится выдержка в течение 0,5—1 с для удаления воздуха, занимающего до 40% объема порошка. Второе — давлением до 21—25 МПа с выдержкой около 1 с предназначено для окончательного прессования плитки.

Использование порошков, приготовленных в распылительных сушилках повышает производительность



прессов на 4—8%, снижает брак в сырце на 13—16% и расслоение плиток при прессовании на 64—76%.

Сушат плитки в конвейерных и туннельных сушилках с конвективным или радиационным обогревом.

Использование радиационных сушилок с инфракрасным излучением резко сокращает продолжительность сушки по сравнению с сушкой в туннельных или конвейерных сушилках за счет повышения средней скорости влагоотдачи с 0,4 кг/м² при конвективном методе до 3,25 кг/м² в час при радиационном. Такие сушилки применимы для сушки плиток при двукратном обжиге, для сушки и досушки плиток при однократном обжиге, для подсушки плиток после глазурования. Удельный расход теплоты на испарение 1 кг влаги 7,12—11,73 МДж, тогда как в конвейерных сушилках расходуется 13,83 МДж.

Глазуруют плитки и фасонные детали при однократном обжиге пульверизацией на сушильно-глазуровочном конвейере. Плитки, предварительно обожженные, глазуруют пульверизацией и поливом.

Глазурованные плитки перемещаются конвейером во вторую радиационную сушилку для досушки при 220—250° С в течение 2,5—3,5 мин.

При двукратном обжиге перед глазурованием плитки обдувают от пыли и очищают щетками, затем они поступают под водяной душ. Температура плиток перед глазурованием не должна превышать 30—40° С. Для закрепления глазурного слоя толщиной 0,3—0,4 мм пористость плитки должна составлять 12—14%. При меньшей пористости применяется глазурная суспензия большей вязкости, достигнутой за счет добавки клеящих веществ, например желатина.

Если плитка недостаточно обожжена, то на ней образуется цек глазури. При пережоге глазурная суспензия плохо закрепляется и легко откалывается.

Поливом плитки глазуруют на глазуровочных автоматах после утельного обжига. Это наиболее перспективный метод глазурования плиток, изготавливаемых на поточно-конвейерных линиях. Плитки из магазина-автомата поступают на канатный конвейер, где их очищают от пыли, обдувая сжатым воздухом в камере, проходят по конвейеру под двумя щелями автомата, из которых на них равномерной тонкой, но широкой струей выливается глазурная суспензия. Боковые стороны плиток зачищают щетками. Лучшего качества глазурования до-

стигают, если между первым и вторым поливом плитки поворачивают на 90°. Производительность линии при скорости движения конвейера 1 м/с около 20 тыс. плиток в 1 ч.

На ряде заводов страны обожженные плитки глазуруют на глазуровочном конвейере фирмы «Чибек» (Италия). Плитки из бесстопочного делителя подаются на зачистку кромок карбидокремниевыми дисками, очищаются от пыли горизонтально вращающейся щеткой, увлажняются водой с помощью специальных форсунок, глазуруются в два приема, торцы плиток зачищаются от натеков глазури, рисунок наносится с помощью трех последовательно установленных автоматических станков для шелкографии. Длина конвейера 60 м, скорость 0,24 м/с, производительность 100 плиток в минуту.

Расход стронциевой глазури 5—6,5 г, белой циркониевой глазури 9—10 г и цветной глазури на борноциркониевой фритте до 12 г при обжиге в туннельных печах и до 18—20 г при обжиге в щелевых роликовых печах. При расходе глазури более 20 г на плитку ее наносят в два приема. При глазуровании плиток способом полива расход глазури сокращается на 20—25% по сравнению с глазурованием пульверизацией.

Нанесение жидкой глазури на плитки имеет существенные недостатки: необходимо подсушивать плитки после глазурования, возможно набухание и снижение прочности плиток, необходим тонкий помол компонентов глазури, возможно образование дефектов — волнистости, натеков, наколов и др., а также загрязнение краев и тыльной стороны плитки. Эти недостатки устраняются при сухом глазуровании. В промышленности опробованы способы нанесения на плитки при прессовании сухой порошкообразной глазури, нитеевидной глазури, переработанной в нетканые материалы (типа бумаги), стекловолокнистого холста и т. д. На уложенную в пресс-форму в один или несколько слоев (5—10) при соответствующей их толщине глазурь напрессовывается масса плитки под давлением до 50 МПа. После обжига такой глазурный покров не уступает покрову, нанесенному обычным способом.

Декорируют плитки нанесением рельефного декора, цветными глазурями, деколью, шелкографией, штампом и др.

**Обжигают плитки в два приема. На отдельных заводах** освоен одноразовый обжиг плиток. Утельный обжиг в производстве плиток является основным. Он придает плитке все свойства готового изделия. Скорость нагрева плиток при обжиге 40° С/ч, а скорость охлаждения 30° С/ч. Несмотря на незначительное содержание стекловидной фазы — до 16%, ее достаточно для придания плитке требуемой прочности.

Утельный обжиг плиток производится в туннельных печах длиной 88 и 104,5 м конструкции Гипростройматериалов, а также щелевых роликовых печах. Мощность печей от 0,6 до 1 млн. м² плиток в год.

Плитки перед загрузкой в печь устанавливают в капсели. На дно капселя укладывают бракованные утельные плитки, по краям стопок посередине устанавливают гребенки. Плитки на гребенки укладывают парами. Сверху их прикрывают бракованными утельными плитками. Емкость капселя 66—67 шт. На одну вагонетку устанавливают 130—150 м² плиток, до 43 м² плинтусных плиток, до 40 м² карнизных плиток. Плотность загрузки туннельной печи при первом обжиге 60—65 м² плиток на 1 м² печного канала.

При бескапсельном утельном обжиге плитки устанавливают на печные вагонетки стопками по 60—80 шт. в каждой на этажерках из шамотных плиток. От воздействия открытого пламени с боковых сторон плитки защищают рядом капселей с плитками или огнеупорными плитками. Температура утельного обжига плиток 1050—1180° С. Печная среда окислительная. Время толкания вагонеток 60—70 мин. Продолжительность обжига 40—44 ч. Расход условного топлива 0,163 кг на 1 кг плиток.

Для утельного обжига используют также щелевые роликовые печи конструкции НИИстройкерамики и фирм «Сити» (Италия), «Ридхамер» (ФРГ) и др. Роликовая печь НИИстройкерамики имеет длину 22,4 м, диаметр металлических роликов 33 м, шаг между осями роликов 70 мм, количество роликов 320 шт. Продолжительность утельного обжига плиток 16—17 мин при 1000—1100° С.

После обжига плитки шлифуют, калибруют на станках-автоматах и сортируют. Производительность автоматов для шлифовки и калибровки 8—10 тыс. плиток в 1 ч.

Политой обжиг плиток проводят в туннельных и щелевых печах прямого действия, реже в муфельных одно-

и многоканальных. При обжиге в туннельных печах открытого пламени плитки устанавливают в кассеты в вертикальном и реже в горизонтальном положении. В открытой кассете-этажерке плитки укладывают на выступы кассеты лицевой стороной вверх. Горизонтальное положение плиток во время обжига способствует более ровному розливу глазури, в то время как при вертикальном ниже качество глазурного покрытия плитки, требуется меньшая толщина слоя глазури повышенной вязкости для избежания натеков. Плитки в капсели закрытого типа устанавливают на гребенках, разделяющих плитки, сложенные попарно тыльной стороной друг к другу. По дну капселя укладывают гребенки с меньшей высотой зуба, сверху плиток — с большей высотой. Емкость капселя 30—40 плиток. В 1 м$^3$ печного канала помещают 28—33 м$^2$ плиток. На туннельную вагонетку ставят от 92 до 112 капселей закрытого типа. Коэффициент избытка воздуха в зоне обжига 1,1—1,7; на участке максимальных температур 1,1—1,3, в отходящих газах — 4—7. При достижении конечной температуры обжига делается небольшая выдержка. Продолжительность подъема температуры 18—22 ч, полный цикл обжига 30—40 ч.

Съем плиток с 1 м$^3$ туннельной печи в месяц составляет 600—900 м$^2$. Расход условного топлива 10—18 кг на 1 м$^2$ плиток.

Однократный обжиг плиток имеет свои особенности, так как процессы формования плитки и закрепления глазури совмещаются.

Составы масс при однократном обжиге корректируются для повышения прочности плитки после сушки и водоустойчивости, например, содержание обожженного каолина увеличивается с 9 до 26%, а толщина плитки до 5—5,5 мм.

При однократном обжиге в туннельных печах плитки устанавливают в капсели на восьмигнездных гребенках по 32 шт. в каждый вместо 40 шт. при двукратном обжиге, что способствует снижению дефекта «следы гребенок». Температура обжига 1100—1160° С. Цикл толкания вагонеток 40 мин, продолжительность обжига до 29 ч. Конечная температура при однократном обжиге на 40—60° С выше, чем при двукратном. Длительность выдержки при конечной температуре обжига от 5 до 20 мин в зависимости от свойств глазури.



Скоростной обжиг плиток осуществляется в щелевых одно- и многоканальных печах.

Массы для скоростного обжига должны иметь минимальную усадку, а влажность плиток, поступающих на обжиг, не должна превышать 0,3—0,5%.

Поточно-автоматизированная конвейерная линия для производства плиток на базе роликовых щелевых печей, разработанная НИИстройкерамики, приведена на рис. 115.

Прессуют плитки на прессе К/РК$_п$-125. Сушат их сначала в конвейерной сушилке, по всей длине которой расположены инжекционные микрофакельные горелки. Температура сушки 220—280° С, продолжительность 9 мин, влажность плиток после первой сушки 2,5—3%. Далее плитки конвейером передаются на позицию нанесения глазурного покрова методом дискового распыления или полива, после чего они поступают на вторую сушку в сушилку по конструкции аналогичной первой. Температура плиток после сушки около 100° С, влажность не более 0,5%, продолжительность сушки 3,5 мин. Высушенные плитки поступают на об-

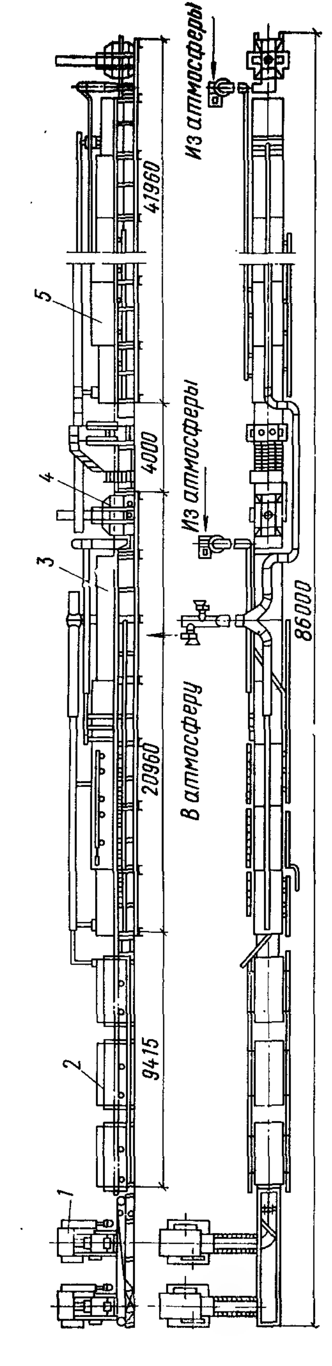



Рис. 115. Схема поточно-автоматизированной конвейерной линии для производства плиток
1 — пресс; 2 — сушилка; 3 — печь утельного обжига; 4 — глазуровочная установка; 5 — печь политого обжига

жиг. В печь их загружают в четыре ряда на роликовый конвейер, без подставок. Продолжительность утельного обжига в щелевой роликовой печи 17—20 мин при максимальной температуре обжига 1100°С. Продолжительность политого обжига плиток при 960—1000°С 26—30 мин. Производительности линии 250 или 500 тыс. м² в год.

Использование многоканальных печей резко сокращает продолжительность обжига плиток, повышает производительность труда в 2—3 раза, увеличивает выход продукции первого сорта до 75%, снижает на 30—50% расход теплоты на единицу продукции, а электроэнергии в 2—3 раза.

Сортируют плитки вручную или на станках-автоматах типа КММ-2720-21 или других на три сорта в соответствии с ГОСТ 6141—76. Применение автоматов для шлифовки утельной плитки исключает сортировку по размерам готовой плитки.

Пороки плиток в основном зависят от качества глазурного покрова. Дефекты самих плиток — отклонения от размеров, искажение формы, разнотолщинность, кривизна, регламентируются соответствующим ГОСТ.

*Вопросы для самопроверки*

1. **Отличительные особенности облицовочных плиток.**
2. **Подготовка пресс-порошков и прессование плиток.**
3. **Дефекты прессования плиток.**
4. **Способы глазурования плиток.**
5. **Декорирование плиток, способы, их особенности.**
6. **Преимущества бескапсельного скоростного обжига плиток.**

## 7. Производство хозяйственно-бытового фаянса

Фаянсовые изделия можно подразделить на две основные группы: хозяйственно-бытового и строительного назначения. Изделия хозяйственно-бытового назначения (посуда) составляют 18% общего выпуска керамической посуды.

В зависимости от состава масс различают: полевошпатовый, или твердый фаянс, и мягкий — глинистый и известковый. Масса полевошпатового фаянса имеет следующий состав, %: глинистые материалы — 45—65, кварц 25—40 и полевой шпат 5—15. В глинистом фаянсе больше глинистых материалов (75—85%) и меньше кварцевого песка по сравнению с твердым. Масса известкового фаянса содержит 35—55% глинистых материалов, 30—40% кварца и 15—20% мела.



**Таблица 19 ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ФАЯНСА**

| Показатели | Мягкий (известковый и глинистый) фаянс | Твердый (полевошпатовый) фаянс |
|---|---|---|
| Водопоглощение, % | 19—21 | 9—12 |
| Предел прочности, МПа: | | |
| при изгибе | 6—20 | 15—30 |
| при сжатии | 60—90 | 100—110 |
| Коэффициент линейного расширения, $1\cdot10^{-6}\cdot1/°C$, при температуре 20—760° С | 5—6 | 7—8 |

Физико-механические свойства фаянса приведены в табл. 19.

Белизна фаянсовых изделий составляет 70—83% эталона (баритовой пластинки), тогда как белизна фарфоровых изделий 55—71%. Однако им присущ желтоватый оттенок, из-за которого фаянсовые изделия уступают фарфоровым, имеющим голубоватый оттенок.

В фаянсе процессы формирования структуры проходят не до конца ввиду малого количества в массе плавней, а также низкой для образования жидкой фазы температуры обжига. Основные структурные составляющие фаянса — измененное в результате обжига глинистое вещество, кварц и незначительное до 10% количество стекломуллитовой фазы. Этим объясняется и значительная общая пористость, доходящая до 30%, в том числе открытая — 9—12%, что резко отличает фаянс от фарфора и других тонкокерамических изделий, имеющих плотный спекшийся черепок. Влияние повышенной пористости и структуры сказывается не только в понижении механической прочности, но и в склонности к набуханию в результате поглощения влаги в процессе эксплуатации изделий и последующего расширения объема на 0,09—0,12%, что является причиной цека глазурного покрова, а это существенный недостаток фаянса.

В производстве фаянсовой посуды используют традиционное керамическое сырье. Подготовке пластичной массы и шликеров предшествует измельчение кусковых

каменистых материалов на бегунах с гранитными либо кварцитовыми катками или в шаровых мельницах сухого помола с последующим тонким помолом каменистых материалов в шаровых мельницах мокрого помола при соотношении размалываемых материалов, шаров и воды 1:1,3:(0,8—1) до остатка 1,5—3% на сите № 0056 (10 085 отв/см²).

Глинистые материалы, отходы при сушке и обрезке распускают в воде в лопастных или пропеллерных мешалках, оборудованных паропроводом для подогрева суспензии до 40—45° С.

Ситовое обогащение суспензии производят на вибрационных или инерционных ситах № 01 и 0085 (3460 и 4450 отв/см²), а магнитное — с помощью электромагнитов и ферромагнитов.

Суспензию обезвоживают на фильтр-прессах до получения массы влажностью 21—25%. Массу проминают на вакуум-мялках и хранят в течение 7—10 сут.

Материалы для глазури измельчают до остатка на сите № 0056 (10 085 отв/см²) не более 0,05%. Влажность глазурной суспензии должна быть 45—48%. Обогащают глазурную суспензию процеживанием через сито № 0085 и пропусканием через электромагнитный сепаратор или ферромагниты.

Массу перед формованием дважды проминают в вакуум-мялке при разрежении не менее 0,06—0,08 МПа. Влажность пластичной массы в зависимости от ассортимента составляет 21—24% для плоских изделий, 25—27% — для полых.

Тарелки, составляющие до 80% общего выпуска фаянсовой посуды, формуют на полуавтоматических линиях предприятия «Тюрингия» (ГДР) типа К/ДТ$_e$-А$_2$. Каждая линия состоит из узла дополнительного вакуумирования массы, отрезного устройства, автомата для формования тарелок с устройствами подъема форм и разводки пласта, разгрузочной каретки, сушилки для двустадийной сушки с очистителем форм, переставителя тарелок, вакуум- и гидросистем, пульта управления. Производительность линии до 1 тыс. изделий в 1 ч.

Литьем изготовляют главным образом полые изделия сложной формы. Шликер для литья приготовляют, распуская в мешалках фильтр-прессную массу, чистые обрезки и отходы сушки. Готовый шликер до употребления выстаивается в продолжение суток.



Изделия отливают поточным способом на литейно-сушильных установках или конвейерах либо методом серийной отливки на литейных столах.

Отлитые изделия подвяливают в форме для снижения влажности, вынимают из формы и оправляют мокрым способом. Крупные изделия (суповые вазы, соусницы и др.) оправляют на оправочном круге или на станке.

Носики и ручки приставляют к корпусам изделий при влажности 16—17%. Для большей прочности приставки рекомендуется вводить в жижель 6—8%-ный раствор КМЦ в количестве 1—2%.

Сушат фаянсовые изделия до влажности 2% в радиационной сушилке в течение 26—28 мин, в конвективной сушилке — 3—3,5 ч.

Обжигают фаянсовые изделия двукратно. Для обжига плоских изделий (тарелок глубоких и мелких диаметром от 0,175 м и больше) применяют капсели с вырезным дном, полые изделия (чашки, кружки, вазы суповые и т. д.) ставят в один ряд в капсели соответствующей величины. Допускается садка мелких изделий (солонки и т. д.) небольшими стопками (по 5—6 шт.).

Максимальная температура первого обжига изделий твердого фаянса 1230—1280° С; газовая среда на протяжении почти всего процесса обжига — окислительная, охлаждение обожженных изделий в интервале температур 650—500° С — замедленное.

Для повышения белизны и улучшения качества обжига рекомендуется при достижении конечной температуры обжига делать выдержку 2—4 ч, чередуя слабо окислительную среду с нейтральной. Продолжительность обжига 30—32 ч. Расход условного топлива 0,45—0,55 кг на 1 кг обжигаемых изделий. Недожженные изделия направляют на повторный обжиг.

Глазуруют изделия на конвейерных линиях окунанием, пульверизацией, поливом. Плотность глазурной суспензии должна быть 1,3—1,4 г/см³ в зависимости от водопоглощения черепка, температура 25—30° С.

Для политого обжига глазурованные изделия устанавливают в капсели и на этажерки вагонеток туннельной печи: плоские, как более устойчивые в отношении деформации при обжиге, ставят на ребро, полые — на ножку.

Во избежание «слипыша», перекоса и сдвига изделий

пользуются при заборке гребенками, полозками и клинышками, предварительно обожженными. При бескапсельном обжиге в туннельных печах изделия устанавливают на полозки и удерживают специальными планками-гребенками или в специальных кассетах, что повышает емкость печной вагонетки на 60—70%, снижает время загрузки вагонетки до 20 мин вместо 35 мин при заборке на обычных гребенках, повышает производительность труда на 25%.

Обжигают глазурованные изделия при температуре 1140—1180° С. Газовая среда — окислительная. Продолжительность обжига 16—18 ч.

Все обожженные изделия, поступающие в сортировочное отделение, подлежат обработке на горизонтальных и вертикальных станках. Следы от полозков и гребенок, «слипыш», небольшие вмятины снимают на станках с помощью абразивных кругов. После обработки изделия передают на сортировку.

Декорируют изделия подглазурным и надглазурным декором. Нормально обожженные (после первого обжига) изделия частично направляют на подглазурное декорирование, выполняемое следующими способами: раскраска аэрографом, нанесение рисунка резиновым штампом, шелкография, ручная раскраска, нанесение отводок на краю изделий в виде лент, усиков, комбинированная раскраска.

Надглазурное декорирование изделий производят декалькоманией, штампом, аэрографом, шелкографией, ручной живописной раскраской, отводкой в виде лент, усиков, печатью и комбинированными способами.

Надглазурные краски закрепляют, обжигая изделия в конвейерных печах непрерывного действия при следующем режиме термообработки: обжиг в окислительной среде, температура обжига должна соответствовать паспортным данным обжигаемых красок, длительность нахождения при максимальной температуре 5—15 мин. После обжига изделия сортируют, наносят на них холодное клеймо, комплектуют и сдают на склад готовой продукции. Хранят их отдельно по сортам, фасонам, размерам и разделкам, в штабелях или на полках высотой и глубиной не более 1 м. На каждом штабеле должна быть этикетка с указанием сорта и фасона изделий.



*Вопросы для самопроверки*

1. **Назовите разновидности фаянса и их особенности.**
2. **Отличительные особенности фаянсовых изделий.**
3. **Особенности обжига фаянсовых изделий.**

## 8. Производство майоликовых изделий

У майоликовых изделий пористый окрашенный или белый черепок, в изломе имеющий землистый вид. Различают майоликовые изделия хозяйственно-бытового (посуда), декоративно-художественного (скульптура) и строительного (плиты и плитки, печные изразцы, панно, горельефы, барельефы и др.) назначения.

Преимуществами производства майолики с окрашенным черепком являются возможность использования местного сырья, а также высокие художественные свойства изделий, зачастую выполненных в традициях народного творчества. Недостатки майоликовых изделий: высокая пористость и значительная водопроницаемость, недостаточная прочность, склонность к образованию цека глазури.

Для производства майоликовых изделий с белым черепком из массы типа фаянсовой используют просяновский каолин, глины огнеупорные — дружковскую и другие, перлит, кварцевый песок или кварцевые отходы каолиновых комбинатов, бой утельных изделий. В производстве изделий с окрашенным черепком применяют местные легкоплавкие глины и пески, иногда комбинируя массы из местных глин различных месторождений. Содержание карбонатов кальция в глинистом сырье должно быть в пределах 5—15%, что способствует лучшему закреплению глазури. Местные виды сырья не должны содержать посторонних, а тем более вредных примесей. В тех случаях, когда местные глины трудно разжижаются, их вводят в пластическую массу и шликер в обожженном до 900—950° С виде как добавку к привозным пластичным глинам.

Тонкий помол и смешение компонентов массы ведут по обычной технологии производства фарфоровых и фаянсовых изделий. Помол отощающих производят до остатка не более 1,5—2% на сите № 006. Влажность суспензии отощающих 50—55%. Роспуск глинистых и смешивание с отощающими производят в течение 6—7 ч. Суспензию обезвоживают до влажности 23—24% на фильтр-прессах, а затем вакуумируют.

Шликер готовят обычно беспрессовым и реже прессовым способом. Отощающие материалы в заданном соотношении подвергают раздельному тонкому помолу в шаровых мельницах до остатка на сите № 006 не более 1,5—2% и смешивают с предварительно распущенным в воде глинистым материалом (время роспуска 6—8 ч), добавляют электролиты — 0,2% соды и 0,3% жидкого стекла, вводимые сверх 100%. Влажность литейного шликера должна быть 32—33%. До подачи на отливку шликер выдерживают для созревания не менее 24 ч при постоянном перемешивании в мешалке. Перед употреблением шликер пропускают через сито № 07.

В производстве майоликовых изделий используют глазури, в основном фриттованные, прозрачные и заглушенные, белые и цветные, а также ангобы. Цветные глазурные суспензии готовят на основе бесцветных с добавкой к ним красящих оксидов или пигментов. Температура варки фритты 1200—1350° С.

Для глазурования внутренней поверхности изделий применяют бессвинцовые глазури. Получение термостойких бессвинцовых заглушенных майоликовых глазурей возможно за счет использования двуоксида церия, вводимого в виде концентрата, содержащего не менее 80% основного вещества, а также за счет ввода стронцийсодержащих добавок. Высококачественные бессвинцовые глазури получают при вводе в их состав 1—1,5% оксида бора и до 5—6% оксида калия. Калийборсодержащие и стронциевые глазури обеспечивают высокие декоративные свойства майоликовых изделий.

Влажность массы для ручного формования на станках должна быть 23—24%, для формования на полуавтоматах 19—20%. Формование изделий производят на полуавтоматах в гипсовых формах при помощи шаблона или ролика, а также ручной формовкой на гончарном круге.

Приставные детали формуют (отливают) отдельно и приставляют к подвяленным изделиям влажностью 12—16% при помощи клея, состоящего из равных частей отходов при сушке и воды. Оправку изделий производят мокрым способом при влажности 12—16% или сухим при влажности 4—6% на оправочных станках или на гончарном круге.

Литье изделий осуществляется вручную на столах или на конвейере. Время набора стенки изделия требуемой толщины для белого шликера 20—30 мин, для цветного 30—40 мин. Подвялка изделий в формах производится до влагосодержания 16—20% в белой массе и 16—22% в цветной.



Майоликовые изделия декоративно-художественного назначения изготовляют способами пластического формования, литья, а также лепкой вручную. Плиты и плитки строительного назначения прессуют из сухих порошков влажностью 6—8%, а также пластичной массы влажностью 16—18% (например, печные изразцы) с использованием рычажных, гидравлических и фрикционных прессов.

Приклеивание приставных деталей из белой массы производится при влажности ее 17—19%, из цветной — при влажности 18—20%.

Изделия, декорируемые ангобами, вначале подвяливают в специальной камере до влажности 12—16%, а затем оправляют. После оправки изделия из цветной массы направляют на декорирование ангобами и досушку. Перед употреблением ангоб пропускают через сито № 02 (918 отв/см$^2$). Влажность его должна быть 60—70%. Наносят ангоб окунанием, поливом или при помощи резиновой груши.

Сушат изделия в естественных условиях на стеллажах либо в камерных или туннельных сушилках с температурой теплоносителя 60—70° С и относительной его влажностью 50—80%. Длительность сушки в зависимости от вида и размера изделий колеблется от 12 до 48 ч.

Глазуруют изделия хорошо высушенные или обожженные на утель. Глазурная суспензия должна быть плотностью 1,4—1,8 г/см$^3$. Перед глазурованием ее пропускают через сито № 0315 (494 отв/см$^2$). Глазурь наносят на изделия окунанием, поливом, кистью, пипеткой. Могут применяться и комбинированные методы глазурования.

После сушки до 5—6%-ной влажности изделия обжигают в туннельных печах, газовых или электрических, и реже в горнах. Однократный бескапсельный обжиг майоликовых изделий в туннельной печи может быть осуществлен за 14—16 ч. Подъем температуры до 600—780°С осуществляется со скоростью 130—190°С/ч, замедляясь до 35—40°С/ч в интервале температур 800—1080°С. Выдержка при максимальной температуре 1—1,5 ч. Охлаждение происходит со скоростью 50—100°С/ч.

Таблица 20. ХАРАКТЕРИСТИКА РЕЖИМОВ ОБЖИГА

| Характеристика | Обжиг | |
|---|---|---|
| | первый | второй |
| Максимальная температура, °С | 1080 | 1060 |
| Продолжительность цикла нагрева и охлаждения в туннельных печах, ч: | | |
| электрических | 14—20 | 5—8 |
| газовых | 22—24 | 11—12 |
| Относительная длина зон, %: | | |
| подогрева | 22 | 22 |
| охлаждения | 23 | 23 |
| Продолжительность выдержки при максимальной температуре, ч | 1—1,5 | 0,3—0,4 |

Двукратный обжиг майолики характеризуется данными, приведенными в табл. 20. Печная среда на всем протяжении обжига окислительная. Расход условного топлива при обжиге в туннельных печах 0,45—0,7 кг на 1 кг изделий.

У обожженных изделий шлифуют края и ножки, затем их очищают, сортируют, упаковывают и направляют на склад готовой продукции.

*Вопросы для самопроверки*

**1. Характеристика майоликовых изделий и области их использования.**
**2. Особенности подготовки масс, глазурей и ангобов в производстве майолики.**
**3. Способы формования майоликовых изделий.**
**4. Сушка и обжиг изделий.**

# СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

## К части первой


**Августиник А. И.** Керамика. Л., Стройиздат, 1975, 380—409, 487—495, 550—569.

**Ахьян А. М.** Технология фарфоровых изделий бытового назначения. М., Легкая индустрия, 1971, 55—57, 280.

**Барский Л. А., Данильченко Л. М.** Обогатимость минеральных комплексов. М., Недра, 1977, 240—245.

**Будников П. П.** Гипс, его свойства и применение. М., Промстройиздат, 1951, 3—27.

**Визир В. А., Мартынов М. А.** Керамические краски. Техника. Киев, 1964, 49—172.

**Вихтер Я. И.** Производство гипсовых вяжущих веществ. М., Высшая школа, 1974, 115—157.

**Круглицкий Н. Н.** Физико-химические основы регулирования свойств дисперсии глинистых минералов. Киев, Наукова думка, 1968, 68—79.

**Мамыкин П. С., Стрелов К. К.** Технология огнеупоров. М., Металлургия, 1970, 135—162.

**Методы** исследования и контроля в производстве фарфора и фаянса. Под редакцией А. И. Августиника, И. Я. Юрчака. М., Легкая индустрия, 1971, 254—295.

**Миклашевский А. И.** Технология художественной керамики. М., Стройиздат, 1971, 14—47.

**Милдс М., Лаушке Р.** Роспись фарфора. М., Легкая индустрия, 1971, 274—280.

**Мороз И. И., Комская М. С., Сивчикова М. Г.** Справочник по фарфоро-фаянсовой промышленности. Т. I. М., Легкая индустрия, 1976, 5—9, 86—150.

**Мороз И. И.** Технология строительной керамики. Киев. Высшая школа, 1980, 79—88.

**Мороз И. И., Комская М. С., Олейникова Л. Л.** Справочник по фарфоро-фаянсовой промышленности. Т. II. М., Легкая индустрия, 1980, 5—36.

**Овчаренко Ф. Д., Ничипоренко С. П.** Исследование в области физико-химической механики дисперсных глинистых минералов. Киев, Наукова думка, 1965, 65—80.

**Организационная** структура лабораторий и ОТК заводов и точки контроля производства/ЦНИИТЭИлегпром. М., 1970.

**Печуро С. С., Кржеминский С. А.** Основные требования различных отраслей промышленности по производству гипса и рациональные способы получения его. — Труды совещания по производству формовочного гипса. М., Стройиздат, 1957, 46—54.

**Ульянов А. А., Тихонов В. А., Литвинова З. С.** Формовочный гипс, Киев., Будiвельник, 1970, 3—9.

**Юшкевич М. О., Роговой М. И.** Технология керамики. М., Стройиздат, 1969, 324—338, 71—90.


## К части второй


**Августиник А. И.** Керамика. Л., Стройиздат, 1975, 496—544.

**Акунова Л. Ф., Приблуда С. З.** Материаловедение и технология производства художественных керамических изделий. М., Высшая школа, 1979, 12—26.

**Ахьян А. М.** Технология фарфоровых изделий бытового назначеиия, М., Легкая индустрия, 1971, 272—292.
**Балкевич В. Л.** Техническая керамика. М., Стройиздат, 1968, 84—172.
**Булавин И. А., Августиник А. И., Жуков А. С. и др.** Технология фарфорового и фаянсового производства. М., Легкая индустрия, 1975, 130—180, 250.
**Каолины Украины.** Справочник. Киев, Наукова думка, 1982, 300—336.
**Мороз И. И.** Автоматизация производства фарфоро-фаянсовых изделий. Киев, Техніка, 1965, 232—248.
**Мороз И. И.** Фарфор, фаянс, майолика, Киев, Техніка, 1975, 71—137, 234—256.
**Никулин Н. В., Кортнев В. В.** Производство электрокерамических изделий. М., Высшая школа, 1970, 14—28, 84—155.
**Порядкова З. С., Олейник Л. Л., Мороз И. И.** Повышение качества и эксплуатационных свойств фарфоровой и фаянсовой посуды. М., Легкая индустрия, 1975, 80—94.
**Строительнаи керамика.** Справочннк. М., Стройиздат, 1976, 91—145.
**Уайэтт О, Дью-Хьюз Д.** Металлы, керамика, полимеры. М., Атомиздат, 1979, 204—212, 512—527.

# ОГЛАВЛЕНИЕ

*Иван Иванович Мороз*

ТЕХНОЛОГИЯ ФАРФОРО-ФАЯНСОВЫХ ИЗДЕЛИЙ

Редакция литературы по строительным материалам и конструкциям

Зав. редакцией П. И. Филимонов

Редактор Н. Б. Либман

Внешнее оформление художника А. А. Рэджио

Технические редакторы В. Д. Павлова, Л. И. Шерстнева

Корректор Л. П. Бирюкова

**ИБ № 2804**

Сдано в набор 12.08.83 Подписано в печать 28.03.84 Т-08240
Формат 84×108[1]/32. Бумага типографская № 2 Гарнитура «Литературная»
Печать высокая Усл. печ. л. 17,64 Усл. кр.-отт. 17,85 Уч.-изд. л. 18,67
Тираж 7.000 экз. Изд. № АШ-9253 Заказ № 334/3279 Цена 75 коп.

Стройиздат, 101442, Москва, Каляевская, 23-а

Набрано в типографии НИИмаш, г. Щербинка Московской обл., Типографская ул., д. 10
Отпечатано в Подольском филиале ПО «Периодика» Союзполиграфпрома при Государственном комитете СССР по делам издательств, полиграфии и книжной торговли, 142110, г. Подольск, ул. Кирова, д. 25